



# Vliv způsobu zatěžování na pevnost lepeného spoje

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství

*Autor práce:* **Petr Nastoupil**  
*Vedoucí práce:* Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2017/2018

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Nastoupil**  
Osobní číslo: **S17000298**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Vliv způsobu zatěžování na pevnost lepeného spoje**  
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Seznámení se s problematikou technologie lepení a aplikací lepidel při stavbě karoserie.
2. Proměnlivost zatížení lepených spojů při provozu automobilu.
3. Experimentální určení pevnosti lepených spojů s ohledem na způsobu zatěžování.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.
5. Diskuse výsledků, závěr.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy  
Rozsah pracovní zprávy: cca 30  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

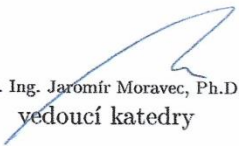
- [1] BROCKMANN, W., GEISS, P., L., KLINGEN, J., SCHRÖDER, B. *Adhesive Bonding*, WILEY - VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009, s. 414, ISBN 978-527-31898-8.
- [2] ASM HANDBOOK. *Volume 8 - Mechanical Testing and Evaluation*. 10th ed. Materials Park: ASM International, 2000, s. 998. ISBN 0-87170-389-0.
- [3] Články v odborných časopisech.
- [4] Technické materiály od výrobců a zpracovatelů lepidel a plechů.
- [5] Technické normy ČSN, EN, ISO.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: 1. listopadu 2017  
Termín odevzdání bakalářské práce: 1. února 2019

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

  
doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2017

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

# **Vliv způsobu zatěžování na pevnost lepeného spoje**

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá pevností lepeného spoje v závislosti na druhu jeho zatěžování. Pro experimentální měření byla vybrána tři lepidla s různými pevnostmi. Vytvořené lepené spoje byly zkoušeny na pevnost ve smyku, pevnost v odlupu a pevnost při štípání rázem pomocí klínu. Na konci práce je vyhodnocené měření a diskuze naměřených výsledků.

## **Klíčová slova:**

Lepení, lepený spoj, pevnost lepeného spoje

# **Influence of loading method on strength of glued joint**

## **Annotation**

This bachelor thesis deals with the strength of the glued joint depending on the type of its load. Three adhesives with different strengths were selected for experimental measurements. The formed glued joints were tested for shear strength, T-peel strength and impact peel strength. At the end of the work is evaluation of measurement and discussion of measured results.

## **Key words:**

Bonding, glued joint, strength of glue joint

## **Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval především vedoucí mé bakalářské práce Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za odborné vedení a čas, které mi věnovala. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Doubkovi Ph.D. za cenné připomínky a podněty poskytnuté během vypracování zvoleného tématu. Také bych rád poděkoval mé rodině za podporu během celé doby studia.



## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk .....   | 9  |
| 1 Úvod.....   | 11 |
| 2 Teoretická část .....   | 12 |
| 2.1 Lepený spoj.....  | 12 |
| 2.1.1 Výhody a nevýhody technologie lepení.....                           | 12 |
| 2.2 Teorie lepení .....   | 13 |
| 2.3 Návrh lepeného spoje.....   | 15 |
| 2.4 Konstrukce lepených spojů.....  | 17 |
| 2.4.1 Vliv konstrukčních a technologických faktorů na pevnost spoje ..... | 17 |
| 2.4.2 Druhy způsobů zatěžování lepených spojů.....                        | 19 |
| 2.4.2.1 Vliv působení vnějších sil.....                                   | 20 |
| 2.4.2.2 Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů .....    | 23 |
| 2.4.2.3 Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepeného spoje .....         | 23 |
| 2.7 Hodnocení lepených spojů.....   | 23 |
| 2.7.1 Zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem .....                | 23 |
| 2.7.2 Zkouška pevnosti v odlupování .....                                 | 24 |
| 2.7.3 Zkouška štípání rázem pomocí klínu .....                            | 25 |
| 2.7.4 Hodnocení typu porušení lepeného spoje .....                        | 26 |
| 2.8 Použití lepidel ve stavbě karoserie automobilu .....                  | 27 |
| 3 Experimentální část.....  | 28 |
| 3.1 Cíle experimentu.....   | 28 |
| 3.2 Charakteristika použitých materiálů .....                             | 28 |
| 3.2.1 Použité mazivo.....   | 28 |
| 3.2.2 Použitá lepidla.....  | 29 |
| 3.2.3 Použitý plech.....  | 31 |
| 3.3 Zkouška pevnosti ve smyku dle PV 12.35.....                           | 31 |





|   |    |
|---|----|
| 3.3.1 Příprava vzorků.....                                | 31 |
| 3.3.2 Měření vzorků.....                                  | 34 |
| 3.3.3 Vyhodnocení výsledků .....                          | 36 |
| 3.4 Zkouška pevnosti v odlupu dle ISO 11339.....          | 37 |
| 3.4.1 Příprava vzorků.....                                | 37 |
| 3.4.2 Měření vzorků.....                                  | 39 |
| 3.4.3 Vyhodnocení výsledků .....                          | 40 |
| 3.5 Zkouška štípání rázem pomocí klínu dle ISO 11343..... | 41 |
| 3.5.1 Příprava vzorků.....                                | 41 |
| 3.4.2 Měření vzorků.....                                  | 43 |
| 3.4.3 Vyhodnocení výsledků .....                          | 44 |
| 4 Diskuze výsledků.....                                   | 46 |
| 5 Závěr .....   | 48 |
| Použitá literatura .....                                  | 50 |
| Seznam příloh .....                                       | 51 |





## Seznam použitých zkratek

|           |                    |  |
|-----------|--------------------|--|
| $\alpha$  | [°]                | elevační úhel                                      |
| $s_a$     | [mm]               | tloušťka adherendu                                 |
| $l_u$     | [mm]               | délka překrytí                                     |
| $F_p$     | [N]                | síla při přetržení                                 |
| $\tau$    | [MPa]              | pevnost ve smyku                                   |
| $F_{max}$ | [N]                | maximální tahová síla působící na lepený spoj      |
| $S$       | [mm <sup>2</sup> ] | plocha lepeného spoje                              |
| $\tau D$  | [MPa]              | dovolené napětí ve smyku                           |
| $R_{ms}$  | [MPa]              | pevnost spoje ve smyku                             |
| $k$       | [-]                | bezpečnost   |
| $M$       | [N*mm]             | ohybový moment                                     |
| $F$       | [N]                | zatěžující síla                                    |
| $S_1$     | [mm]               | tloušťka lepeného spoje                            |
| $S_2$     | [mm]               | tloušťka naneseného lepidla                        |
| $l$       | [mm]               | délka lepeného spoje                               |
| $e$       | [mm]               | osová vzdálenost lepených plechů                   |
| $F_{sab}$ | [N/mm]             | střední odlupovací pevnost                         |
| $F_{so}$  | [N]                | střední síla v odlupu v ustálené části diagramu    |
| $F_s$     | [N/mm]             | střední pevnost při štípání                        |
| $b$       | [mm]               | šířka lepeného spoje                               |
| $F_{ss}$  | [N]                | střední síla při štípání v ustálené části diagramu |
| $CF$      | [-]                | kohezní lom  |
| $AF$      | [-]                | adhezní lom  |
| $SCF$     | [-]                | speciálně kohezní lom                              |
| $x$       | [-]                | střední hodnota                                    |



|       |     |  |
|-------|-----|--|
| $x_i$ | [-] | měřená hodnota každého zkušebního vzorku |
| $n$   | [-] | počet měření                             |
| $s$   | [-] | směrodatná odchylka                      |





## 1 Úvod

Lepení je všeobecně považováno za moderní technologii, i když jeho počátky můžeme nalézt již v době kamenné. Nejstarší archeologicky doložená technologie lepení je ze starověkého Babylónu, kde byly nalezeny sošky s přilepenýma očima. [1,2,3]

Prakticky až do 2. světové války mohly být lepeny pouze materiály schopné vstřebat lepidlo (např. dřevo, kůže, textil, papír apod.). Lepení bylo využíváno především ve spotřebním průmyslu. Mezníkem v technologii lepení byl objev fenolformaldehydové pryskyřice. [3]

V současnosti lepení nachází využití prakticky ve všech odvětvích hospodářství, v kosmické a letecké technice, automobilovém průmyslu, při stavbě lodí, vagónů, obráběcích strojů, ve stavebnictví, v měřicí a regulační technice a dokonce i ve zdravotnictví. Také proto se lepení říká technologie budoucnosti. [1,3]

Cílem mé bakalářské práce je posouzení vlivu způsobu zatěžování na pevnost lepeného spoje. Podmínky řešení by se měly co nejvíce přiblížit reálným podmínkám použitých při konstrukci automobilu. Teoretická část je zaměřena na problematiku lepení, vznik spoje a jeho princip, dále na návrh, konstrukci a způsoby namáhání lepeného spoje, které jsou orientovány především na automobilový průmysl. Experimentální část se zabývá zkouškami lepeného spoje a vyhodnocením druhu porušení.



## 2 Teoretická část

### 2.1 Lepený spoj

Lepení lze zjednodušeně charakterizovat jako technologický proces spojování součástí (adherendů) pomocí lepidel (adheziv) v nerozebíratelný nebo částečně rozebíratelný celek. Lepidlo můžeme definovat jako látku, která umožňuje spojení dvou stejných, ale i různých materiálů a je tvořeno přírodními nebo syntetickými směsí. Lepený spoj může mít mnoho funkcí a jeho kvalita je závislá na mnoha faktorech, proto je třeba navrhovat lepený spoj tak aby splňoval požadavky na svoji funkci. Obecně však platí, že by měl být lepený spoj namáhán hlavně na smyk a nebyl namáhán loupáním nebo štěpením. I přesto ve srovnání s klasickými metodami spojování (nýtováním, svařováním, šroubováním, pájením aj.) poskytuje lepení nové možnosti a dovoluje získat spoje různých tvarů a vlastností, které většinou nejsou dosažitelné jinými způsoby spojování. [1,4,5]

#### 2.1.1 Výhody a nevýhody technologie lepení

Hlavní přednost spojování součástí pomocí lepení je použití této technologie tam, kde není možné vytvořit spoj jinými způsoby např. různé druhy materiálů, složité tvary apod. [1] Lepení má opravdu mnoho výhod i nevýhod, ale tato práce je zaměřena především na výhody a nevýhody použití technologie lepení v automobilovém průmyslu a s ohledem na konstrukci a namáhání lepeného spoje.

##### Výhody:

- těsnost spojů (není třeba dodatečně utěsňovat)
- dobré tlumící schopnosti (hluku, vibrací)
- plošné uchycení plechů karoserie zajišťuje v lepeném spoji rovnoměrně rozložené napětí (tím se zvyšuje celková pevnost a tuhost celé karoserie)
- zvýšení korozní odolnosti karoserie, jak chemické tak elektrolytické (lepidlo je elektrický izolant)
- žádné poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů
- možnost spojovat různé materiály (ocel-sklo, pryž-ocel atd.)

**Nevýhody:**

- v průmyslové praxi není vždy možné, aby byl spoj zatěžován pouze na smyk, a není vždy možné použít optimální konstrukci spoje
- malá odolnost vůči zvýšení teploty
- malá pevnost při zatěžování na odlup a štípáním
- maximální pevnosti se dosáhne až po určité době (vytvrzení) [1]

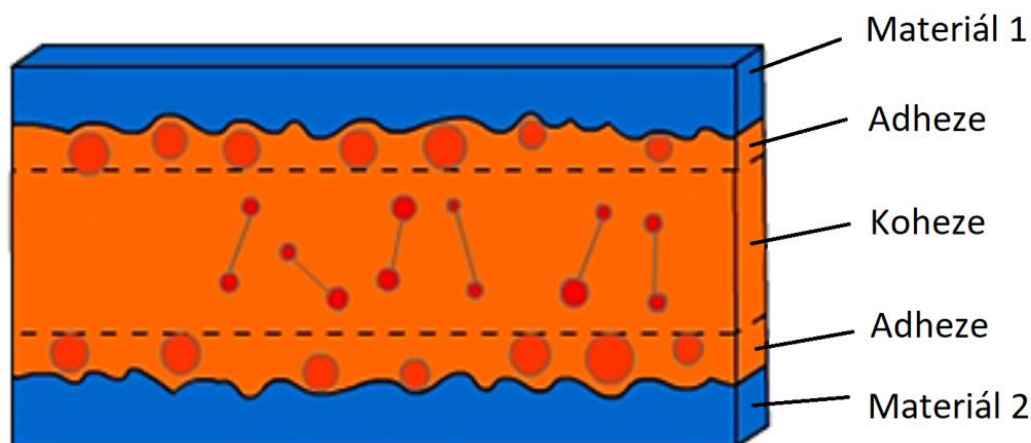
**2.2 Teorie lepení**

Vyvolání vzájemné přitažlivosti mezi dvěma tuhými materiály bez použití lepidla je obtížné, jelikož by se tyto materiály musely k sobě přiblížit na molekulární vzdálenost a musely by být úplně rovné, souběžné a očištěny od všech nečistot. Proto je k vyvolání této vzájemné přitažlivosti mezi tuhými materiály použito lepidlo ve formě kapalné látky. Výsledkem je vznik nerozebíratelného spoje, u kterého se využívají adhezivní síly mezi lepidlem a materiálem a vlastní kohezi lepidla. [2,3,5]

**Adheze** neboli přilnavost je definována jako vzájemné přitahování dvou povrchů adhezivními silami. Základem adhezivního jevu jsou fyzikální síly přitažlivosti a adsorpce, které jsou popisovány jako síly Van der Waalsovy. Což jsou velmi slabé přitažlivé nebo odpudivé síly, které působí mezi molekulami. [1]

**Koheze** neboli soudržnost představuje vlastní pevnost lepidla, která je závislá na tloušťce lepidla. Lepidlo je namáháno jak na povrchu tak uvnitř ve hmotě. Velikost koheze charakterizuje tzv. kohezní energie, kterou lze definovat jako energii nezbytnou k odtržení částic lepidla od sebe. [1]

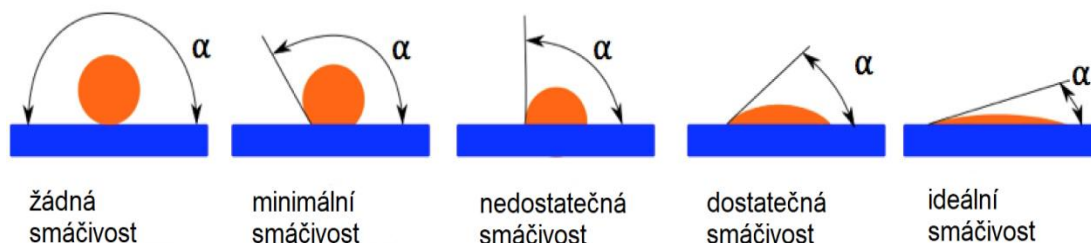
Na obr. 1 je schematicky zobrazen řez lepeným spojem, který znázorňuje adhezní a kohezní vazby v lepeném spoji. Tyto adhezní a kohezní síly by se měly rovnat, protože každý spoj je tak pevný, jak je pevný jeho nejslabší článek. [1]



Obr. 1 Adheze a koheze v lepeném spoji [6]

Odstranění slabých vazeb znamená, vytvořit takový vztah mezi materiálem a lepidlem, při kterém bude mít samo lepidlo takovou smáčivost, že odstraní slabou vazební vrstvu, a to jak vzduchovou tak i olejovou (viz kapitola 2.3 Návrh lepeného spoje) a při nanášení co nejdokonaleji rovnoměrně pokryje celou lepenou plochu. [3]

**Smáčivost** je vlastnost vyjadřující schopnost kapaliny udržovat kontakt s pevným povrchem, což je výsledkem mezimolekulární interakce. Má-li lepidlo smáčet pevný povrch látky, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepené látky. Smáčivost povrchů můžeme hodnotit tzv. kapkovou metodou, viz obr. 2. Dobře smáčivé jsou látky, u nichž je elevační úhel menší než  $90^\circ$ . Tento úhel určuje rozdíl povrchových napětí lepidla a vzduchu. Je-li tento rozdíl kladný, pak je elevační úhel ostrý a lepidlo dobře smáčí povrch. Pokud je však tento rozdíl záporný, je elevační úhel tupý a lepidlo povrch nesmáčí. [1,7]



Obr. 2 Smáčivost lepidel –  $\alpha$  elevační úhel [6]

V procesu lepení, při spojování dílů, se uplatňují fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly. Adhezi, jako jev vysvětluje řada teorií. Je nutné si uvědomit, že žádná z uvedených teorií popisující základní představy o vzniku pevných vazeb



a spojení nedává uspokojivé vysvětlení, které by bylo možné aplikovat na tolik různých kombinací lepených materiálů. Je velmi pravděpodobné, že níže zmiňované teorie platí při lepení současně a vzájemně se doplňují. [1] Tyto teorie jsou podrobněji popsány v literatuře [1] kapitola 2.2 Teorie lepených spojů.

- Molekulová teorie (adsorpční)
- Elektrostatická teorie
- Mechanická teorie
- Difusní teorie
- Chemická a reologická teorie

## 2.3 Návrh lepeného spoje

Před vlastním provedením procesu lepení je nutné provést vhodný návrh konstrukce a volbu materiálů pro lepení. Tedy zjednodušeně řečeno, konstrukce by se měla navrhovat tak, aby šla dobře slepit. V dnešní době to však takto bohužel nefunguje, konstruktér navrhne konstrukci a až poté řeší, jak se tato konstrukce bude vyrábět (co se bude lepit, co se bude svařovat atd.). [1]

### Volba lepidla

Produktivita výroby je zvláště v automobilovém průmyslu velmi vysoká, proto není z tohoto důvodu výhodné před aplikací lepidla nebo svařováním při stavbě karoserie plech zvlášť odmašťovat a jinak upravovat. Lepidla jsou v podstatě navrhována tak, aby byla schopna lepit i povrchy neodmaštěné a jinak neupravené. Hovoříme tedy o lepidlech modifikovaných tzv. na míru aplikace. Tato lepidla se běžně v jiných odvětvích průmyslu nepoužívají. [1,9]

Konstruktér většinou volí lepidlo podle základních třech požadavků:

- Požadovaná pevnost spoje
- Technologie zpracování lepidla
- Ceny lepidla [1]





V rámci technologického postupu výroby karoserie automobilů se rozlišují dvě základní skupiny lepidel:

- Lepidla svařovenská
  - Jsou používána při stavbě karoserie v oblasti svařovny, tj. dříve než celá karoserie projde lakovací linkou. Jejich vytvrzení probíhá při teplotách v lakovací lince. [1]
- Lepidla montážní
  - Jsou používána při montáži ostatních částí vozu na karoserii. Jedná se o lepidla vytvrzující působením vzdušné vlhkosti. Společně s karoserií již neprochází žádnou technologickou operací s tepelným účinkem. [1]

### **Příprava materiálu na lepení**

Při lepení karosářských výlisků se před vlastním lepením plech nijak neupravuje a olej z plechového dílu neodstraňuje, protože by těmito operacemi došlo k zásadní změně v technologickém postupu výroby karoserie a jednoznačně ke zvýšení ekonomiky provozu montážních linek. Olej má na plechu dvě základní funkce: konzervační a mazací. Vzhledem k tomu je nutné používat lepidla, která jsou schopna zajistit požadovanou pevnost a vlastnosti spoje i přes tento negativní jev. [1]

### **Nanášení lepidla**

V automobilovém průmyslu se pro nanášení lepidel používají moderní dávkovací a nanášecí zařízení, u kterých je tvar nanášené housenky závislý na velikosti trysky, teplotě a na vytlačovacím tlaku. Množství lepidla zase na nastavení dávkovacího zařízení. [1]

### **Montáž spoje**

Při lepení karosářských výlisků je přitlačovací síla, která je potřebná pro zajištění vzniku kvalitního lepeného spoje vyvozována většinou pomocí vhodné konstrukce spoje. Na obr. 3 je zobrazen například spoj lemů, kde je přitlak vyvozen již při ohýbání lemu. [1]







*Obr. 3 Příklad konstrukčního řešení lepeného spoje v lemu bočních dveří.*

### Vytvrzení lepidla

Všechna použitá svařovenská lepidla musejí být schopna vytvrzení za teplotně-časových parametrů odpovídajících procesům v lakovací lince. Ale u části lepidel aplikovaných při stavbě karoserie není možné čekat s jejich vytvrzením až na konečnou fázi lakování, ale lepidlo je třeba uvést alespoň do částečně vytvrzeného stavu ihned po nanesení. Proto se využívá rychlé částečné vytvrzení pomocí indukčního ohřevu v průběhu montáže a celkové vytvrzení lepidla je dokončeno při vytvrzování laku karoserie v peci. Po lakovací lince se používají pouze lepidla montážní. [1]

## 2.4 Konstrukce lepených spojů

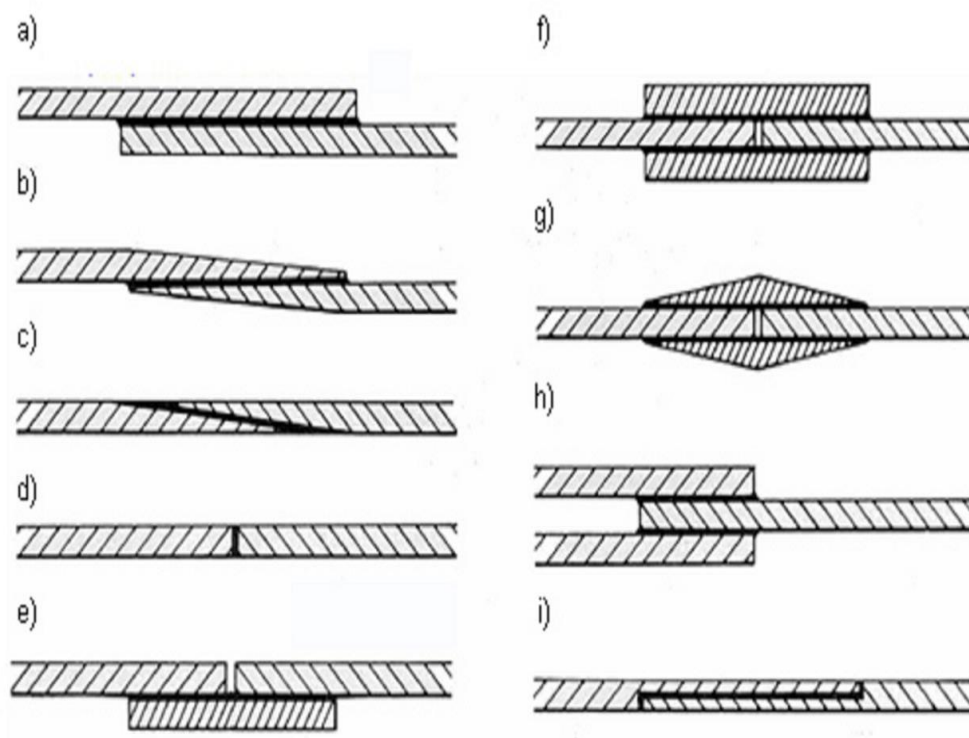
K tomu aby lepené spoje dobře sloužily, je důležité znát nejen vlastnosti lepidel a lepených materiálů, ale i způsob, jakým budou lepené materiály namáhány a jak bude lepený spoj konstruován. Cílem je, aby lepené spoje byly namáhány hlavně na smyk a nebyly namáhány loupáním nebo štěpením. [11]

### 2.4.1 Vliv konstrukčních a technologických faktorů na pevnost spoje

Trvalý tlak na snižování spotřeby pohonných hmot, zvyšování bezpečnosti pasažérů a v neposlední řadě ekologické požadavky nutí výrobce automobilů hledat stále nová a lepší řešení stavby automobilů. Hlavním cílem předních světových výrobců automobilů je snižovat hmotnost automobilů. Proto se někteří výrobci automobilů pokoušejí prosadit co nejvyšší podíl hliníkových plechů, ale úspora hmotnosti není tak velká v porovnání s ekonomickými náklady. Proto ocelové plechy zatím zůstávají nejpoužívanějším materiálem v konstrukcích automobilů. Navíc pokud porovnáme geometricky stejné spoje hliníkové slitiny a oceli lepené týmž lepidlem, pak, i když oba druhy spojů mají stejnou statickou pevnost ve smyku, přenesou spoje oceli při únavové zkoušce při stejném počtu cyklů vyšší zatížení, než spoje hliníkových slitin. [1,2,3,12]

To lze vysvětlit tím, že u spojů oceli je vrstva lepidla méně deformována, protože ocel má vyšší modul pružnosti než hliníkové slitiny. Deformace plechu vyvolává deformaci vrstvy lepidla, která je po délce překlátování rozdělena nerovnoměrně. Při statických zkouškách spojů oceli jsou deformace lepidla, a tím i smyková napětí ve vrstvě lepidla menší a jsou rozdělena rovnoměrněji, než je tomu u hliníkových slitin. Po každém zatížení zůstává ve vrstvě lepidla zbytková deformace a tyto jednotlivé deformace se při únavových zkouškách postupně sčítají. U oceli jsou tedy celkové deformace menší než u hliníkových slitin a to má za následek, že kritické deformace je dosaženo později a spoje oceli mají větší životnost než staticky rovnocenné spoje hliníkových slitin. [2,12]

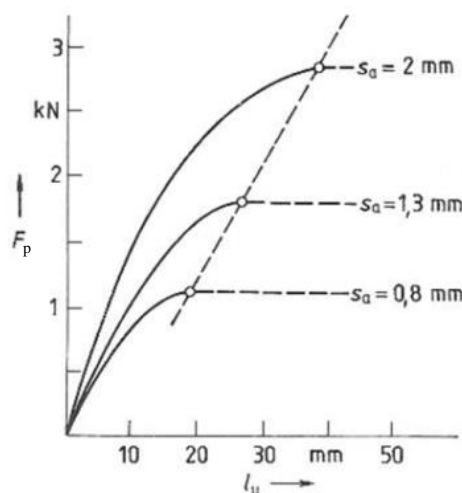
Základní spoje používané ve strojírenském průmyslu jsou znázorněny na obr. 4. Je možné vytvořit i další typy lepených spojů, ale vždy se jedná o další kombinace těchto základních a také nejvíce používaných lepených spojů. V praxi nejvíce rozšířený spoj je jednoduchý spoj překlátováním. [1]



Obr. 4 a) Jednoduchý překlátovaný spoj, b) Zúžený překlátovaný spoj, c) Seříznutý spoj, d) Tupý čelní spoj, e) Překlátovaný spoj s pásem, f) Dvojitě překlátovaný spoj spojený pásem, g) Dvojitě překlátovaný spoj se zúženými pásy, h) Dvojitě přeložený spoj, i) Stupňovitě přeložený spoj. [6]

Rozhodující ovšem i nadále zůstává, jakým způsobem je tento spoj zatěžován. Každý z těchto druhů konstrukcí lepených spojů má jinak rozložené napětí ve spoji, jinou únosnost spoje a v neposlední řadě jinou funkci, proto nemůžeme všechny spoje použít na lepení karoserie, ale můžeme je využít v jiné části lepení automobilu např. lepení skel, lepení přístrojových panelů apod. Každý z těchto spojů se hodí a používá na lepení rozdílných věcí i materiálů. [1]

Volíme takový tvar lepeného spoje, aby byla získána požadovaná styková plocha spoje. Plochu a tím i pevnost spoje je možno zvětšovat například záměnou tupého spoje za šikmý spoj, avšak pevnost spoje dané šířky s délkou překrytí vzrůstá jen do určitého maxima podle obr. 5. Pak už je zvětšování délky stykové plochy zbytečné. Poté je vhodnější spíš spoj rozšířit než prodloužit. [1,4,6]



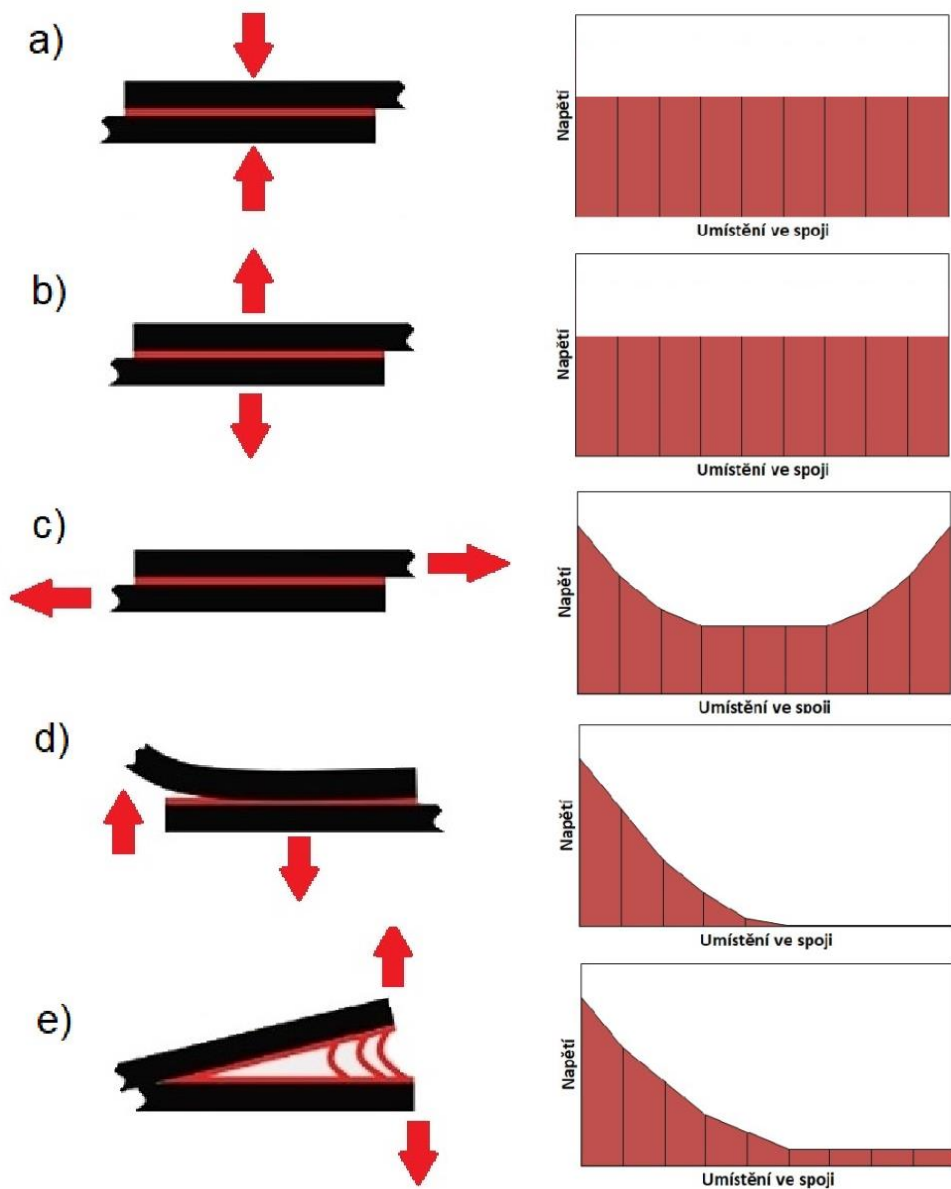
Obr. 5: Vliv tloušťky adherendu  $s_a$  a překrytí na pevnost přeplátovaného spoje dané šířky,  $l_u$  - délka překrytí,  $F_p$  - síla při přetržení [4]

## 2.4.2 Druhy způsobů zatěžování lepených spojů

Předpokladem pro dobrou pevnost a dostatečnou únosnost spoje je potřeba znát jak je lepený spoj zatěžován a jak je rozloženo napětí ve spoji. Lepené spoje jsou nejčastěji zatěžovány více způsoby najednou, například jak působením vnějších sil, tak vysokou nebo nízkou teplotou.

### 2.4.2.1 Vliv působení vnějších sil

Cílem optimálního návrhu lepeného spoje je, aby napětí ve spoji bylo rozloženo co nejrovnoměrněji. Proto je nutné znát, jak je napětí v lepeném spoji při zatížení vnějších sil rozloženo (viz obr. 6). Křivky napětí z obr. 6 nám také ukazují, že namáhání spoje loupáním a štěpením je nevhodné. Jelikož je u těchto namáhání napětí ve špičkách a není rovnoměrně rozloženo do celého lepeného spoje. Proto se snažíme konstruovat spoj bez těchto zatížení. [1]



Obr. 6 Základní druhy zatížení a rozložení napětí v lepeném spoji, a) namáhání tlakem, b) namáhání tahem, c) namáhání smykem, d) namáhání loupáním, e) namáhání štěpením

Zatížení může být dynamického charakteru, kde je spoj namáhán cyklicky, rázově nebo kombinovaně. Anebo může být zatížení statického charakteru, kde je spoj namáhán prostým tahem, tlakem, loupáním nebo štípáním (viz obr. 6). V případě čistého tahu a tlaku se namáhání rozdělí v celém lepeném spoji velmi rovnoměrně. Ve skutečnosti existuje čistý tah a tlak jen velmi zřídka a častěji se setkáváme se zatížením smykem, loupáním a štěpením. Kde je pouze zatížení smykem pro lepení vhodné, smykové zatížení můžeme vypočítat ze vztahu (1). [1]

$$\tau = \frac{F_{max}}{S} \leq \tau_D = \frac{Rm_s}{k} \quad (1)$$

kde je:  $\tau$  – pevnost ve smyku [MPa]

$F_{max}$  – maximální tahová síla působící na lepený spoj [N]

$S$  – plocha lepeného spoje [mm]

$\tau_D$  – dovolené napětí ve smyku [MPa]

$Rm_s$  – pevnost spoje ve smyku [MPa]

$k$  – bezpečnost [-]

Skutečné rozložení napětí ve spoji, tj. rozložení různých místních napětí podél lepené plochy je méně rovnoměrné a je často pro výpočet příliš složité. Při reálném zatížení vznikají ve spoji napětíové špičky (rozložení takového napětí můžeme vidět na obr. 7). Na okraji spoje dochází ke zvýšení napětí. Je-li spoj namáhán loupáním nebo štěpením, vzniká koncentrace napětí pouze na jedné straně spoje. [1]

Se zvyšujícím se zatížením spoje se u namáhání smykem na obou koncích překlátování zvyšuje napětí. Působením takto excentrických sil vzniká ohybový moment podle vztahu (2). Tento ohybový moment vyvolá další napětí v tahu a to především na koncích spoje. Úroveň napětí na těchto koncích je možné snížit, nejen zvýšením pevnosti a tloušťky materiálu, ale i konstrukční úpravou. U takto namáhaného spoje nemusí vždy dojít k deformaci materiálu, jak můžeme vidět na obr. 7 (pokud bude mít materiál dostatečnou pevnost, bude se deformovat pouze lepidlo). [4,14]

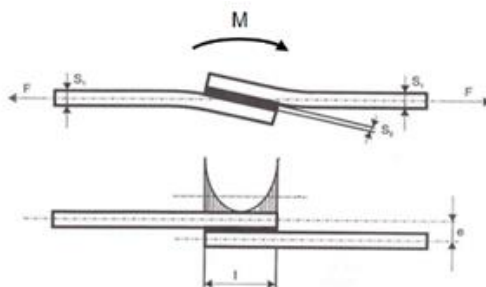
$$M = \frac{F(S_1 + S_2)}{2} \quad (2)$$

kde je:  $M$  – ohybový moment [N\*mm]

$F$  – zatěžující síla [N]

$S_1$  – tloušťka lepeného materiálu [mm]

$S_2$  – tloušťka naneseného lepidla [mm]



*Obr. 7 Deformace jednoduchého překlátovaného spoje způsobená nesouosostí působících sil [15]*

Je hned několik možností, jak snížit na co nejmenší míru negativní vliv tohoto ohybového momentu, jehož příčinou je nesouosost vnějších sil. Jak ukazuje obr. 4, jsou to například: seříznutý spoj, překlátovaný spoj s pásem, dvojité překlátovaný spoj spojený pásem, dvojité překlátovaný spoj se zúženými pásy anebo dvojité přeložený spoj. [14]

S ohledem na rozložení napětí a zatěžování spoje se snažíme především:

- Zabránit působení excentrických sil
- Maximalizovat lepenou plochu
- Minimalizovat zatížení loupáním a štěpením
- Zvolit vhodnou tloušťku lepidla ve spoji [14]

#### 2.4.2.2 Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů

Jelikož není obecné zhodnocení vlivu teploty na pevnost lepených spojů možné, je dobré uvést alespoň přibližně platná pravidla a to pro běžná konstrukční lepidla, která nejsou určena speciálně pro práci za extrémně vysokých nebo nízkých teplot. [2]

Pomocí experimentu, který probíhal za teplot  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+80^{\circ}\text{C}$  byl prokázán významný vliv teploty na pevnost lepeného spoje. Kdy s rostoucí teplotou značně klesá pevnost lepeného spoje. Závislost pevnosti ve smyku na délce přeplátování má za zvýšených teplot jiný průběh než za teploty laboratorní. Zatímco u malých délek přeplátování pevnost ve smyku klesá, u větších délek přeplátování tomu tak být nemusí. Vliv vysokých a nízkých teplot je popsán v literatuře [2] kapitola 7.2.5 Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů a experiment je popsán v literatuře [3]. [2,3]

#### 2.4.2.3 Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepeného spoje

Bylo prokázáno, že rychlost zatěžování v rozmezí přibližně 1 až 30 mm/min nemá podstatný vliv na pevnost spoje ve smyku, ale pokud začneme rychlost zatížení zvětšovat, pak zjistíme, že rychlost zatěžování má na pevnost lepeného spoje vliv. Při rostoucí rychlosti zatěžování stoupá pevnost ve smyku. Více o vlivu rychlosti zatěžování na pevnost lepeného spoje v literatuře [2] kapitola 7.2.8 Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepených spojů. [2,16]

### 2.7 Hodnocení lepených spojů

V mnoha průmyslových odvětvích byly stanoveny a vyvinuty různé zkušební metody pro vyhodnocení lepených spojů. Jednotlivé zkoušky jsou přesně definovány příslušnými normami a jsou rozděleny do dvou základních skupin:

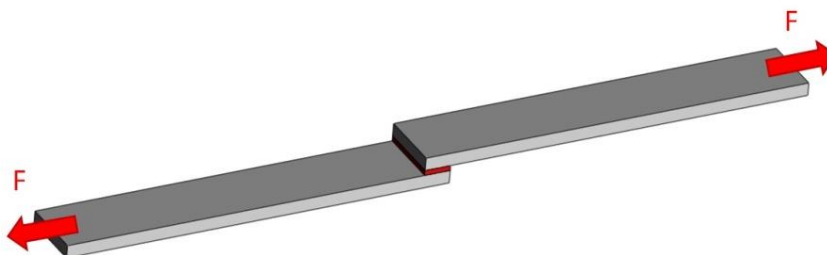
- Destruktivní (zkouška pevnosti ve smyku, zkouška na odlup...)
- Nedestruktivní (akustická zkouška, elektrická zkouška...)

Tato práce je zaměřena pouze na destruktivní zkoušky, které jsou použity v experimentální části. Jsou to také nejpoužívanější zkoušky pro hodnocení lepených spojů.

#### 2.7.1 Zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem

Popisovaná metodika zkoušky vychází z normy PV 12.35. Jejíž podstatou je zatěžovat lepený spoj ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy

až do porušení materiálu (viz obr. 8). Zkušební vzorek se skládá ze dvou přeplátovaných plechů o rozměrech 150x25 mm. Velikost lepené plochy je 10x25 mm pro pevnostní lepidla a 16x25 mm pro výplňová lepidla. Tloušťka plechu se pohybuje v rozmezí 0,7 až 0,9 mm a tloušťka lepidla je 0,2 mm pro pevnostní a 2 mm pro výplňová. Výsledkem je pevnost ve smyku definována vztahem (3), dále se také hodnotí typ porušení. [1]



Obr. 8 Vzorek pro zkoušku pevnosti ve smyku

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S} \quad (3)$$

kde je:  $\tau$  – pevnost ve smyku [MPa]

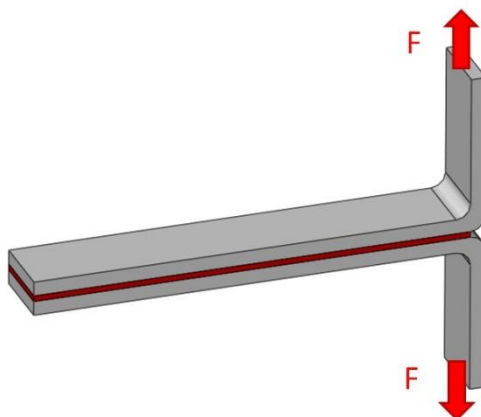
$F_{\max}$  – maximální tahová síla působící na lepený spoj [N]

$S$  – plocha lepeného spoje [mm]

### 2.7.2 Zkouška pevnosti v odlupování

Popisovaná metodika zkoušky vychází z normy ISO 11339. Jejíž podstatou je namáhat zkušební spoj na odlup statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu (viz obr 9). Zkušební vzorek se skládá ze dvou plechů o rozměrech 200x25 mm, které jsou ohnuty ve vzdálenosti 50 mm o 90°. Velikost lepené plochy je 150x25 mm. Tloušťka plechu se pohybuje v rozmezí 0,7 až 0,9mm a tloušťka lepidla je 0,2 mm pro pevnostní a 2 mm pro výplňová. Výsledkem je střední odlupovací pevnost definována vztahem (4) v ustálené části diagramu, dále se také hodnotí typ porušení. [1]





Obr. 9 Vzorek pro zkoušku pevnosti v odlupu

$$F_{sab} = \frac{F_{so}}{b} \quad (4)$$

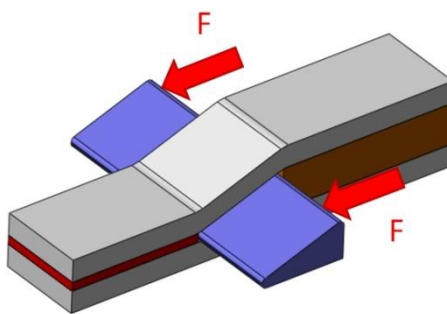
kde je:  $F_{sab}$  – střední odlupovací pevnost [N/mm]

$F_{so}$  – střední síla v odlupu v ustálené části diagramu [N]

$b$  – šířka lepeného spoje [mm]

### 2.7.3 Zkouška štípání rázem pomocí klínu

Popisovaná metodika zkoušky vychází z normy ISO 11343. Jejíž podstatou je rozštípnutí dvou symetricky slepených plechů pomocí klínu a speciálně upraveného Charpyho kladiva (viz obr. 10) při rychlosti od 2 m/s do 6 m/s. Zkušební vzorek se skládá ze dvou slepených plechů o rozměrech 90x20 mm. Velikost lepené plochy je 30x20mm. Tloušťka plechu se pohybuje v rozmezí 0,7 až 0,9mm a tloušťka lepidla je 0,2 mm pro pevnostní a 2 mm pro výplňová. Výsledkem je střední pevnost při štípání dle vztahu (5), dále se také hodnotí typ porušení. [1]



Obr. 10 Vzorek pro zkoušku štípání rázem pomocí klínu

$$F_s = \frac{F_{ss}}{b} \quad (5)$$

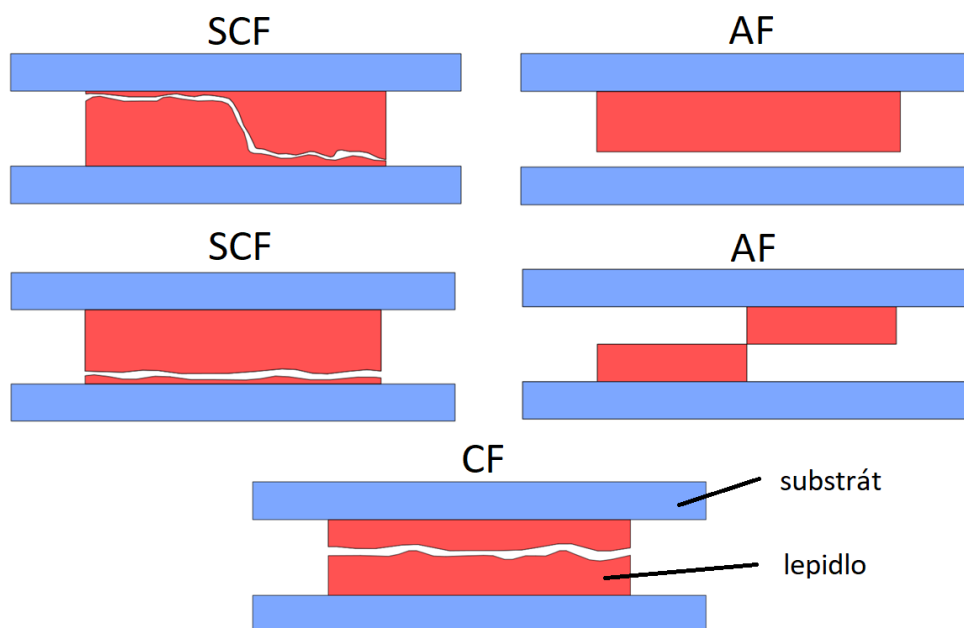
kde je:  $F_s$  – střední pevnost při štípání [N/mm]

$F_{ss}$  – střední síla při štípání v ustálené části diagramu [N]

$b$  – šířka lepeného spoje [mm]

## 2.7.4 Hodnocení typu porušení lepeného spoje

Popisovaná metodika zkoušky vychází z normy ČSN EN ISO 10365 a používá se pro kvalitnější posouzení výsledků mechanických zkoušek. Její podstatou je vyhodnocení a uvedení procentuálního podílu jednotlivých typů porušení. Lepená plocha se tedy rozdělí na 10 velikostně stejných částí a vyhodnotí se procentuální podíl jednotlivých typů porušení v každé oblasti. Výsledkem je potom vždy průměrná hodnota ze všech oblastí. Základní typy porušení lepených spojů jsou schematicky znázorněny na obr. 11. V praxi se nejčastěji setkáváme s kohezním lomem (CF), adhezním lomem (AF) nebo speciálně kohezním lomem (SCF). [1]

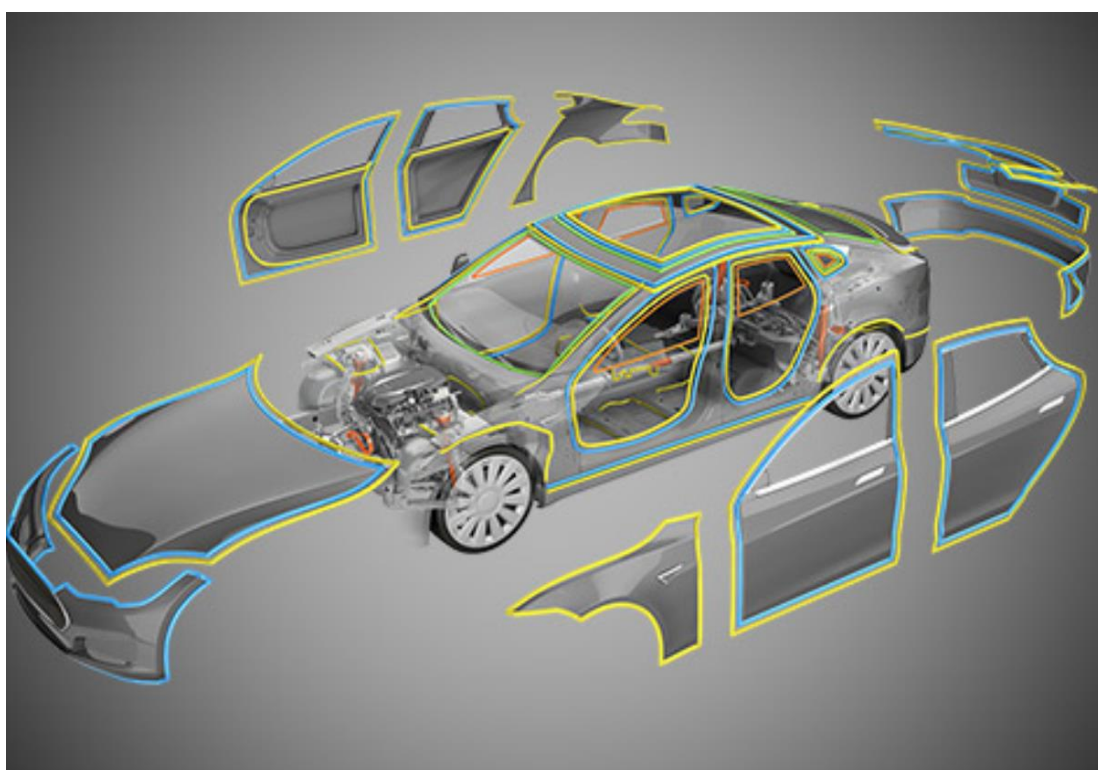


Obr. 11 Typy porušení lepeného spoje dle ČSN EN ISO 10365

## 2.8 Použití lepidel ve stavbě karoserie automobilu

Ve všech fázích výroby automobilu se používají lepidla, která plní funkci přenosu sil, těsnicí funkci, funkci antikorozní ochrany nebo tlumení kmitů. [1]  
Na obr. 12 je zobrazeno, kde všude se dnes používají lepidla ve stavbě automobilů. V rámci technologického postupu výroby karoserie automobilů se rozlišují dvě základní skupiny lepidel:

- Lepidla svařovenská
  - Karosářské díly
- Lepidla montážní
  - Těsnicí systémy oken a dveří
  - Zasklívání skel
  - Zvuková izolace a odhlučnění
  - Montáž motoru, hlavy válců těsnění hřídelů, olejové těsnění, závěs výfuku
  - Přístrojové panely
  - Spojování smíšeného materiálu [18]



*Obr. 12 Lepidla při stavbě karoserie [18]*



## 3 Experimentální část

### 3.1 Cíle experimentu

Lepené spoje používané v automobilovém průmyslu, jsou v praxi podrobeny různým druhům namáhání. Proto jsou v posledních letech kladeny stále vyšší a vyšší nároky na jejich kontrolu a měření.

Cílem experimentální části bakalářské práce je vyhodnocení a porovnání zatížení lepeného spoje smykem, loupáním a štípáním. Dle teorie lepení by největší pevnost měl mít lepený spoj při zatěžování smykem a naopak nejmenší pevnost by měl mít spoj zatěžován loupáním. Měření a hodnocení vzorků probíhalo pomocí:

- Zkoušky pevnosti ve smyku při zatěžování tahem dle PV 12.35 (koncernová norma Volkswagen Group)
- T-zkoušky v odlupování slepů z ohebných adherendů dle ISO 11339
- Stanovení dynamické odolnosti vysoce pevných slepů vůči štípání rázem dle ISO 11343

Po provedení těchto tří zkoušek byl ještě hodnocen typ porušení lepeného spoje dle normy ČSN EN ISO 10365. Typ porušení byl stanoven na základě pozorování pouhým okem.

Experimentální část byla provedena se spoluprací ŠKODA AUTO a.s., díky tomu byly vybrány komponenty (mazivo, lepidlo a plech), které se běžně používají při výrobě automobilu. Pro zkoušky byl vybrán žárově pozinkovaný ocelový plech HDG. Plech byl dále ošetřen mazivem ANTICORIT PL 3802-39S. K tvorbě lepeného spoje byla použita lepidla: Betaguard RB214BV, SikaPower 492G a Betamate 1440G.

### 3.2 Charakteristika použitých materiálů

Pro vytvoření lepeného spoje jsou použity tři základní komponenty, kterými jsou mazivo, lepidlo a plech.

#### 3.2.1 Použité mazivo

Maziva se v dnešní době používají jako antikoroční ochrana, ale mají použití i v ocelárnách jako tvářecí mazivo. Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je důležitá





dobrá smáčivost lepidla. Bohužel maziva tuto smáčivost snižují, což se potom negativně projevuje na celkové pevnosti lepeného spoje. Z tohoto důvodu musí moderní lepidla zajistit dobrou smáčivost i přes povrchovou vrstvu maziva na lepeném plechu.

Pro experiment bylo použito antikorozi mazivo ANTICORIT PL 3802-39S, které se používá jako konzervační olej v ocelárnách a může také sloužit jako mazivo při tváření. Některé fyzikální a chemické vlastnosti maziva jsou uvedeny v tabulce 1. Kompletní materiálový list je v příloze A.

*Tab. 1 Fyzikální a chemické vlastnosti maziva*

| ANTICORIT PL 3802-39S |                    |          |              |
|-----------------------|--------------------|----------|--------------|
| Vlastnosti            | Jednotka           | Údaje    | Zkouška dle  |
| Číslo barvy           | -                  | 3,5      | DIN ISO 2049 |
| Hustota při 15 °C     | kg/m <sup>3</sup>  | 915      | DIN 51 757   |
| Viskozita při 40 °C   | mm <sup>2</sup> /s | 60       | DIN 51 562   |
| Bod vzplanutí         | °C                 | 196      | DIN ISO 2592 |
| Obsah vody            | % hmotnosti        | < 0,2    | DIN 51 777-2 |
| Odstranitelnost       | -                  | Vyhovuje | VW 52.02     |

### 3.2.2 Použitá lepidla

V současné době je na trhu mnoho dodavatelů nabízejících lepidla. Obecně nebývá problém najít vhodný typ lepidla pro danou aplikaci. Jelikož na výslednou pevnost lepeného spoje má vliv i druh lepidla, tak k vytvoření lepeného spoje u vzorků pro experiment byla použita tato:

- SikaPower 492G,
- Betamate 1440G,
- Betaguard RB214BV

#### SikaPower 492G

Je jednosložkové, tepelně vytvrzující, vysoce konstrukční lepidlo na bázi epoxidu. Základní fyzikální a chemické vlastnosti lepidla jsou uvedeny v tabulce 2. Kompletní materiálový list je v příloze B.





Tab. 2 Fyzikální a chemické vlastnosti lepidla

| <b>SikaPower 492G</b> |          |                  |
|-----------------------|----------|------------------|
| Vlastnosti            | Jednotka | Údaje            |
| Chemická báze         | -        | Epoxidový hybrid |
| Barva                 | -        | Černá            |
| Hustota               | kg/l     | 1,30 / 1,35      |
| Pevnost ve smyku      | MPa      | 22               |
| Pevnost v odlupu      | N/mm     | 9                |
| Pevnost při štípání   | N/mm     | 30               |

### **Betamate 1440G**

Je jednosložkové epoxidové lepidlo plněné skleněnými vlákny. Základní fyzikální a chemické vlastnosti lepidla jsou uvedeny v tabulce 3. Kompletní materiálový list je v příloze C.

Tab. 3 Fyzikální a chemické vlastnosti lepidla

| <b>Betamate 1440G</b> |          |                      |
|-----------------------|----------|----------------------|
| Vlastnosti            | Jednotka | Údaje                |
| Chemická báze         | -        | Epoxidová pryskyřice |
| Barva                 | -        | Zelenomodrá          |
| Hustota               | kg/l     | 1,25                 |
| Pevnost ve smyku      | MPa      | 30                   |
| Pevnost v odlupu      | N/mm     | 10                   |
| Pevnost při štípání   | N/mm     | 46                   |

### **Betaguard RB 214 BV**

Je konstrukční lepidlo na bázi syntetického kaučuku. Základní fyzikální a chemické vlastnosti lepidla jsou uvedeny v tabulce 4. Kompletní materiálový list je v příloze D.



Tab. 4 Fyzikální a chemické vlastnosti lepidla

| Betaguard RB 214 BV |          |                   |
|---------------------|----------|-------------------|
| Vlastnosti          | Jednotka | Údaje             |
| Chemická báze       | -        | Syntetický kaučuk |
| Barva               | -        | Šedočerná         |
| Hustota             | kg/l     | 1,5               |
| Pevnost ve smyku    | MPa      | 3-5               |
| Pevnost v odlupu    | N/mm     | -                 |
| Pevnost při štípání | N/mm     | 10                |

### 3.2.3 Použitý plech

Pro experiment byl jako substrát vybrán materiál, který se používá ve stavbě automobilu. Jedná se o ocelový, hlubokotažný, žárově pozinkovaný plech HDG o tloušťce 0,7 mm. Základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 5. Kompletní materiálový list je v příloze E.

Tab. 5 Základní mechanické vlastnosti plechu HDG

| HDG (DX54 DZ100)  |          |           |
|-------------------|----------|-----------|
| Vlastnosti        | Jednotka | Údaje     |
| Smluvní mez kluzu | MPa      | 160 - 220 |
| Mez pevnosti      | MPa      | 260 - 350 |
| Tažnost           | %        | 36        |

## 3.3 Zkouška pevnosti ve smyku dle PV 12.35

### 3.3.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků byla prováděna dle koncernové metodiky Volkswagen Group zkoušky PV 12.35. Tato metodika zohledňuje podmínky vytvářené při lepení částí karoserie automobilu v praxi.

#### Nastříhání plechu na vzorky

Plech byl nastříhán na tabulových nůžkách DURMA MS 2504 z tabule o tloušťce 0,7 mm. Rozměry plechu u této zkoušky jsou: délka  $150 \pm 1$  mm a šířka  $25 \pm 0,5$  mm

(viz obr. 13). Pro každé lepidlo bylo nastříháno 5 vzorků. Poté byla na vzorcích označena lepená plocha pomocí vrypu. Lepená plocha je 10x25 mm.



*Obr. 13 Vzorky pro zkoušku pevnosti ve smyku*

### **Očištění, odmaštění a označení vzorků**

Vzorky byly nejdříve odmaštěny v lázni C-sol (extra) a poté usušeny suchou bavlněnou látkou. Tímto byly ze vzorků odstraněny všechny nežádoucí nečistoty. Poté byly vzorky označeny číslicemi, které představovaly použitý typ lepidla. C-sol (extra) se používá k bezoplachovému odmašťování a čištění dílů za studena v postřikových, máčecích nebo ručních strojích. Materiálový list C-sol (extra) je v příloze F.

### **Nanesení maziva**

Pro experimentální měření bylo zvoleno mazivo ANTICORIT PL 3802-39S, které bylo rovnoměrně nanášeno po celé lepené ploše bavlněnou látkou v množství  $3,0 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$ . Poté byla provedena kontrola množství maziva IR aparátem od firmy Fuchs. Jedná se o ruční přenosné zařízení (viz obr. 14) k jednoduchému zjišťování množství oleje na kovovém povrchu. Konstrukce měřicího aparátu umožňuje infračerveným paprskem snímat povrch plechu o rozměrech 10x10 mm a zaznamenat množství maziva na kontrolované ploše. Z jednotlivých měření je pak vypočtena průměrná hodnota naměřené vrstvy maziva, která se zobrazí na LCD displeji.

Kalibrace je přednastavená na několik druhů kovového povlaku např. na ocelové plechy válcované za studena, na plechy s povlaky elektrolyticky zinkovanými (EG), zároveň zinkovanými (HDG), plechy pohliníkové. Další povrchy mohou být dle požadavků přidány. Aparát je schopen měřit vrstvy maziv v rozsahu 0,2 až  $6 \text{ g/m}^2$ .

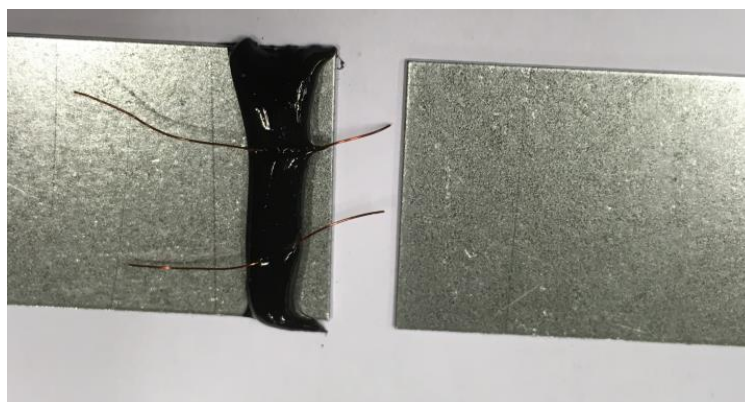




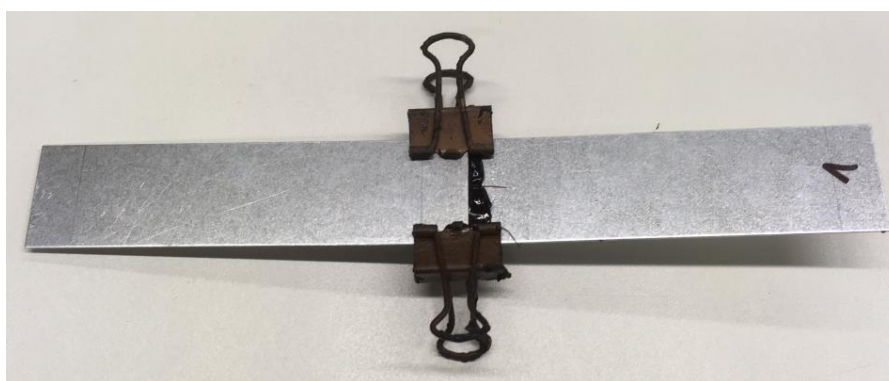
*Obr. 14 IR aparát*

### Lepení vzorků

Pomocí vytlačovací pistole bylo na vzorky nanесeno lepidlo ve tvaru tzv. housenky a pro zajištění konstantní tloušťky lepidla při sevření plechu k sobě byly vloženy distanční drátky o průměru 0,2 mm (viz obr. 15). Stejná distance (0,2 mm) byla použita pro všechna 3 lepidla. Při přitisknutí obou plechů k sobě a zafixováním svorkami vznikl konečný vzorek určený k vytvrzení (viz obr. 16).



*Obr. 15 Nanesené lepidlo s distančními drátky*



*Obr. 16 Vzorek pro zkoušku pevnosti ve smyku dle PV 12.35*

## Vytvrzení

Vytvrzení proběhlo v sušárně Venticell 222 od firmy BMT (viz obr. 17) při teplotě 180°C po dobu 20 minut. Tím se simuluje základní tepelný proces při vytvrzování nastávající v automobilovém průmyslu, kdy při vypalování laku karoserie dochází také k vytvrzování lepených spojů.



*Obr. 17 Sušárna Venticell*

## Chladnutí slepených vzorků

Po vyjmutí ze sušárny se nechaly vzorky vychladnout při pokojové teplotě, poté následovalo sundání fixačních svorek. Vychladlé vzorky se ještě nechaly 24 hodin odležet při pokojové teplotě, poté byly připraveny k jednotlivým pevnostním zkouškám.

### 3.3.2 Měření vzorků

Pro samotné zkoušení vzorku bylo použito trhací zařízení TIRA test 2300 (viz obr. 18) se siloměrnou hlavou o velikosti síly až 100 kN. Vzorek byl upnut do čelistí a po spuštění se čelisti oddalovaly rychlostí 50 mm/min, do té doby než se vzorek přetrhl. Poté byl výsledek zapsán do protokolu zkoušky. Zkoušení vzorků probíhalo při laboratorní teplotě. Po odzkoušení všech připravených vzorků pro smykovou zkoušku, proběhlo jejich zhodnocení dle typu porušení.



Obr. 18 Trhací zařízení TIRA test 2300

Pevnost ve smyku  $\tau$  je vypočtena podle vztahu (6).

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S} \quad (6)$$

kde je:  $\tau$  – pevnost ve smyku [MPa]

$F_{\max}$  – maximální tahová síla působící na lepený spoj [N]

$S$  – plocha lepeného spoje [mm]

Střední hodnota  $x$  je vypočtena podle vztahu (7).

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

kde je:  $x$  – střední hodnota [-]

$n$  – počet měření ( $n=5$ ) [-]

$x_i$  – měřená hodnota každého zkušebního vzorku [-]

Směrodatná odchylka  $s$  je vypočtena podle vztahu (8).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} \quad (8)$$

kde je:  $s$  – směrodatná odchylka [-]

$x$  – střední hodnota [-]

$x_i$  – měřená hodnota každého zkušebního vzorku [-]

$n$  – počet měření [-]

### 3.3.3 Vyhodnocení výsledků

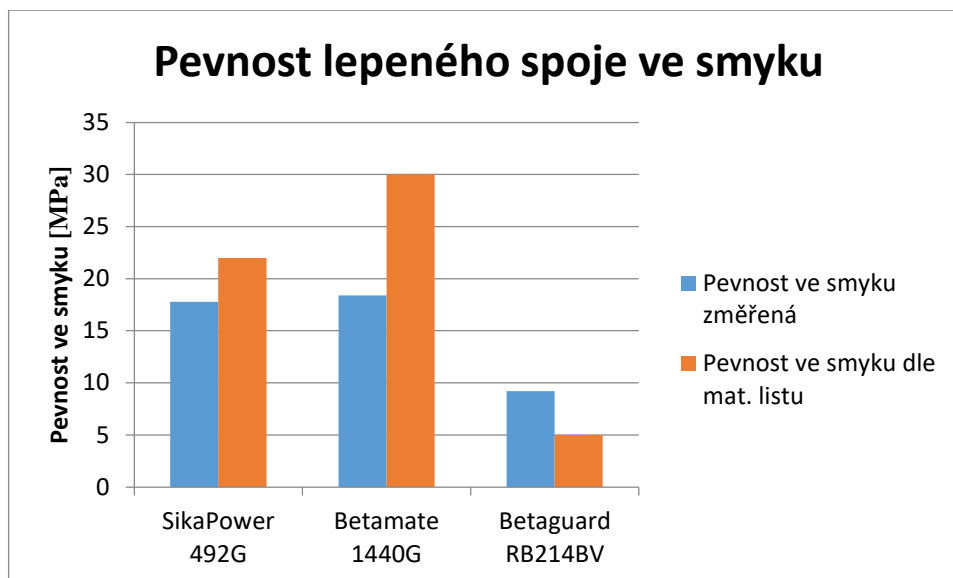
Výsledky pevnostní zkoušky lepených spojů ve smyku jsou uvedeny v tabulce 6.

*Tab. 6 Pevnosti lepených spojů ve smyku*

| Lepidlo              | Pevnost ve smyku<br>změřená [MPa] | Směrodatná<br>odchylka<br>[MPa] | Pevnost ve smyku dle<br>mat. listu [MPa] |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| SikaPower 492G       | 17,79                             | 0,32                            | 22                                       |
| Betamate 1440G       | 18,40                             | 0,17                            | 30                                       |
| Betaguard<br>RB214BV | 9,20                              | 0,12                            | 3-5                                      |

Z tabulky výsledků pevnostních zkoušek ve smyku vyplývá, že největší pevnost ve smyku vykazuje lepidlo Betamate 1440G, které dosáhlo pevnosti o velikosti 18,40 MPa. Jako druhé skončilo lepidlo SikaPower 492G, které dosáhlo pevnosti o velikosti 17,79 MPa. A jako poslední skončilo lepidlo Betaguard RB214BV, které dosáhlo pevnosti o velikosti 9,20 MPa.

Na obr. 19 jsou přehledně znázorněny výsledky pevnostní zkoušky ve smyku, ze kterých vyplývá, že u lepidel Betamate 1440G a SikaPower 492G je úbytek pevnosti změřené oproti pevnosti uvedené v materiálovém listu. Konkrétně u lepidla Betamate 1440G o 38,67 % a u lepidla SikaPower 492G o 19,13 %. Naopak u lepidla Betaguard RB214BV vyšla pevnost o 84 % vyšší než je uvedené v materiálovém listu.



Obr. 19 Grafické znázornění výsledků pevnosti lepených spojů ve smyku

Vyhodnocování typu porušení je provedeno podle normy ČSN EN ISO 10365. Výsledky druhů porušení smykové pevnostní zkoušky lepených spojů jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Druhy porušení lepeného spoje

| Lepidlo           | CF [%] | SCF [%] | AF [%] |
|-------------------|--------|---------|--------|
| SikaPower 492G    | 100    | 0       | 0      |
| Betamate 1440G    | 80     | 0       | 20     |
| Betaguard RB214BV | 100    | 0       | 0      |

U pevnostní zkoušky ve smyku byl vyhodnocen 100 % kohezní lom (CF) u dvou lepidel a to SikaPower 492G a Betaguard RB214BV. U lepidla Betamate 1440G byl vyhodnocen 80 % kohezní lom (CF) a 20 % adhezní lom (AF).

### 3.4 Zkouška pevnosti v odlupu dle ISO 11339

#### 3.4.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků byla prováděna dle metodiky zkoušky ISO 11339. Tato metodika zohledňuje podmínky vytvářené při lepení částí karoserie automobilu v praxi.

### Nastříhání plechu na vzorky

Plech byl nastříhán na tabulových nůžkách DURMA MS 2504 z tabule o tloušťce 0,7 mm. Rozměry plechu u této zkoušky jsou: délka  $200 \pm 1$  mm a šířka  $25 \pm 0,5$  mm. Poté byly vzorky ohnuty ve vzdálenosti 50 mm do úhlu  $90^\circ$  (viz obr. 20) na ohraňovacím lisu DK machinery APHS 2104x60. Pro každé lepidlo bylo nastříháno 5 vzorků. Lepená plocha je tedy 150x25 mm.



*Obr. 20 Vzorky pro zkoušku pevnosti v odlupu*

### Očištění, odmaštění a označení vzorků

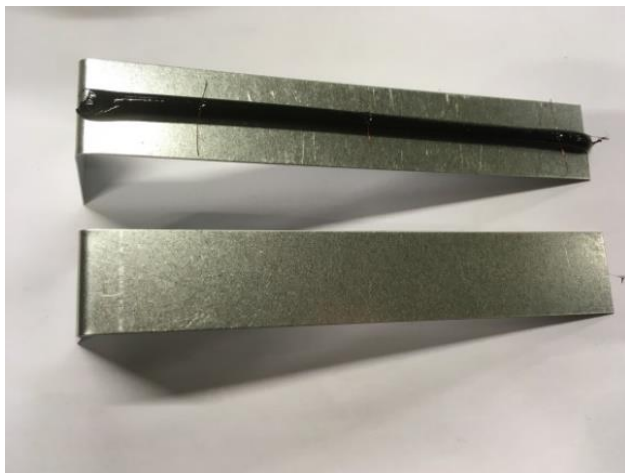
Postup čištění, odmaštění a označení vzorků byl prováděn stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### Nanesení maziva

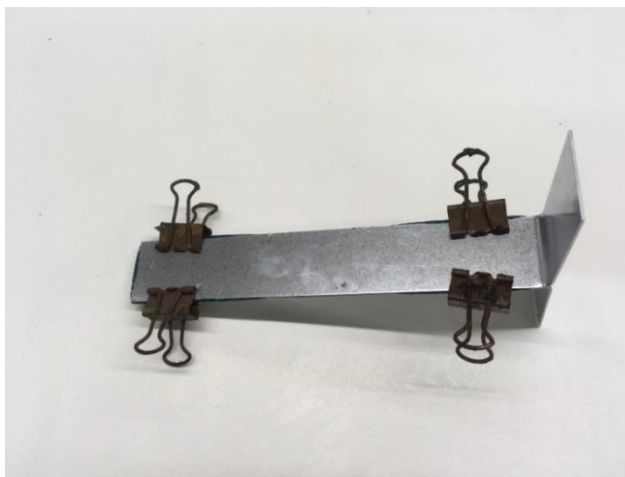
Nanesení maziva bylo prováděno stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1). Rozdíl by pouze v ploše, mazivo bylo nanášeno na celou plochu obou plechů.

### Lepení vzorků

Pomocí vytlačovací pistole bylo na vzorky nanášeno lepidlo ve tvaru tzv. housenky a pro zajištění konstantní tloušťky lepidla při sevření plechu k sobě byly vloženy distanční drátky o průměru 0,2 mm (viz obr. 21). Při přitisknutí obou plechů k sobě a zafixováním svorkami vznikl konečný vzorek určený k vytvrzení (viz obr. 22).



*Obr. 21 Nanesené lepidlo s distančními drátky*



*Obr. 22 Vzorek pro zkoušku pevnosti v odlupu dle ISO 11339*

### **Vytvrzení**

Vytvrzení vzorků probíhalo stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### **Chladnutí slepených vzorků**

Chladnutí vzorků probíhalo stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### **3.4.2 Měření vzorků**

Pro samotné zkoušení vzorku bylo použito trhací zařízení TIRA test 2300 (viz obr. 18) se siloměrnou hlavou o velikosti síly až 100 kN. Kde se vzorek upnul do čelistí a po spuštění se čelisti oddalovaly rychlostí 100 mm/min. Poté byl výsledek zapsán do protokolu zkoušky, hodnotí se pouze v ustálené části diagramu. Střední

hodnota je vypočtena podle vztahu (7) a směrodatná odchylka je vypočtena podle vztahu (8). Zkoušení vzorků probíhalo při laboratorní teplotě. Po odzkoušení všech připravených vzorků pro zkoušku v odlupu, proběhlo jejich zhodnocení dle typu porušení.

### 3.4.3 Vyhodnocení výsledků

Výsledky pevnostní zkoušky v odlupování jsou uvedeny v tabulce 8.

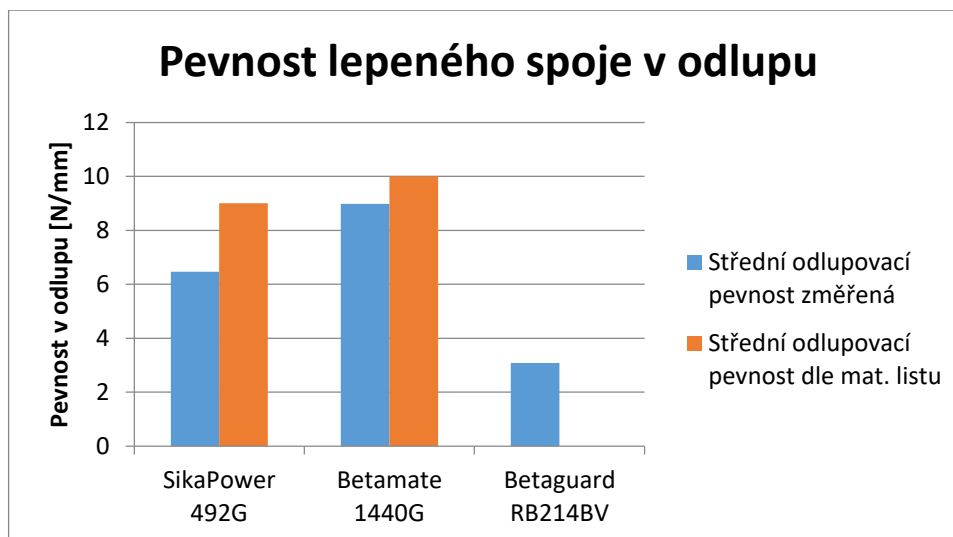
*Tab. 8 Pevnost lepeného spoje v odlupu*

| Lepidlo              | Střední odlupovací<br>pevnost změřená<br>[N/mm] | Směrodatná<br>odchylka [N/mm] | Střední odlupovací<br>pevnost dle mat.<br>listu [N/mm] |
|----------------------|---|-------------------------------|--|
| SikaPower 492G       | 6,47  | 0,4                           | 9  |
| Betamate 1440G       | 8,98  | 0,31                          | 10   |
| Betaguard<br>RB214BV | 3,09  | 0,17                          | -  |

Z tabulky výsledků zkoušky pevnosti na odlup vyplývá, že největší střední odlupovací pevnost má lepidlo Betamate 1440G, které dosáhlo pevnosti o velikosti 8,98 N/mm. Jako druhé skončilo lepidlo SikaPower 492G, které dosáhlo pevnosti o velikosti 6,47 N/mm. Poslední v této zkoušce skončilo lepidlo Betaguard RB214BV, které dosáhlo pevnosti o velikosti 3,09 N/mm.

Na obr. 23 jsou přehledně znázorněny výsledky pevnostní zkoušky v odlupu, ze kterých vyplývá, že u lepidel Betamate 1440G a SikaPower 492G je úbytek pevnosti změřené oproti pevnosti uvedené v materiálovém listu. Konkrétně u lepidla SikaPower 492G o 28,11 % a u lepidla Betamate 1440G o 10,20 %. U lepidla Betaguard RB214BV nelze posoudit, protože hodnota střední odlupovací pevnosti není v materiálovém listu uvedena.





Obr. 23 Grafické znázornění výsledků pevnosti lepených spojů v odlupu

Vyhodnocování typu porušení je provedeno podle normy ČSN EN ISO 10365. Výsledky druhů porušení pevnostní zkoušky na odlup lepených spojů jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Druhy porušení lepeného spoje

| Lepidlo           | CF [%] | SCF [%] | AF [%] |
|-------------------|--------|---------|--------|
| SikaPower 492G    | 100    | 0       | 0      |
| Betamate 1440G    | 100    | 0       | 0      |
| Betaguard RB214BV | 100    | 0       | 0      |

U pevnostní zkoušky na odlup byl vyhodnocen 100 % kohezní lom (CF) u všech použitých lepidel.

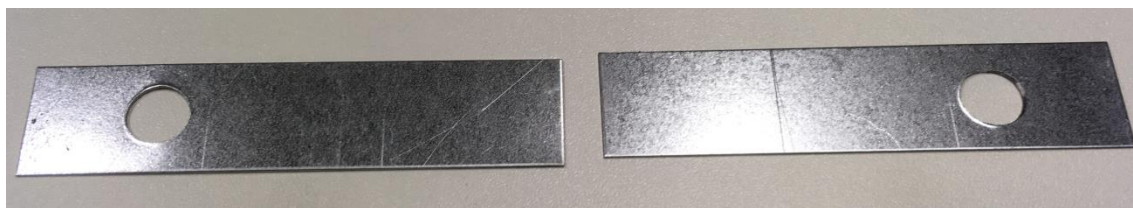
### 3.5 Zkouška štípání rázem pomocí klínu dle ISO 11343

#### 3.5.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků byla prováděna dle metodiky zkoušky ISO 11343. Tato metodika zohledňuje podmínky vytvářené při lepení částí karoserie automobilu v praxi.

### Nastříhání plechu na vzorky

Plech byl nastříhán na tabulových nůžkách DURMA MS 2504 z tabule o tloušťce 0,7 mm. Rozměry plechu u této zkoušky jsou: délka  $90 \pm 1$  mm a šířka  $20 \pm 0,2$  mm. Dále byly pomocí sloupové vrtačky na plechu vyvrtány díry o průměru 8 mm ve vzdálenosti 20 mm od okraje. A na konec byla na vzorcích označena lepená plocha pomocí vrypu (viz obr. 24). Pro každé lepidlo bylo nastříháno 5 vzorků. Lepená plocha je 30x20mm.



*Obr. 24 Vzorky pro zkoušku štípání rázem*

### Očištění, odmaštění a označení vzorků

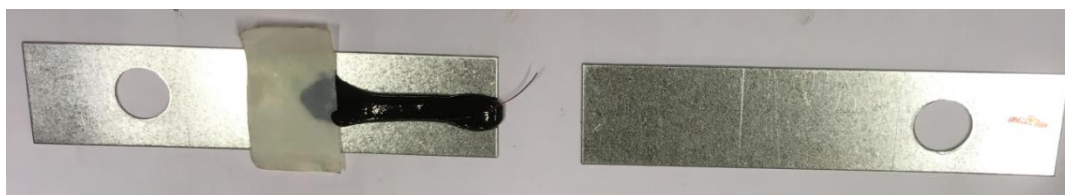
Postup očištění, odmaštění a označení vzorků byl prováděn stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### Nanesení maziva

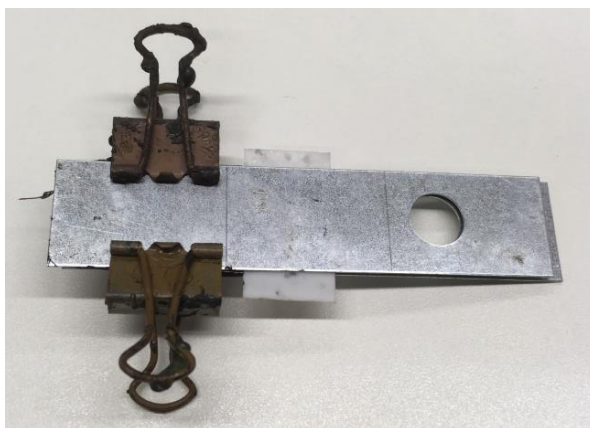
Nanesení maziva bylo prováděnou stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### Lepení vzorků

Pomocí vytlačovací pistole bylo na vzorky naneseno lepidlo ve tvaru tzv. housenky a pro zajištění konstantní tloušťky lepidla při sevření plechu k sobě byl vložen distanční drátek o průměru 0,2 mm (viz obr. 25). Nakonec byl vložen proužek polytetrafluorethylenu pro vymezení požadované lepené plochy. Při přitisknutí obou plechů k sobě a zafixováním svorkami vznikl konečný vzorek určený k vytvrzení (viz obr. 26).



*Obr. 25 Nanesené lepidlo s distančními drátky*



*Obr. 26 Vzorek pro zkoušku štípání rázem dle ISO 11343*

### **Vytvrzení**

Vytvrzení vzorků probíhalo stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### **Chladnutí slepených vzorků**

Chladnutí vzorků probíhalo stejným způsobem jako u zkoušky pevnosti ve smyku (viz kapitola 3.3.1).

### **3.4.2 Měření vzorků**

Pro samotné zkoušení vzorku bylo použito speciálně upravené rázové kladivo Charpy (viz obr 27). Kde byl vzorek upnut a rázové kladivo pomocí klínu vzorek rozštípl, rychlostí přibližně 3,8 m/s. Poté byl výsledek zapsán do protokolu zkoušky. Střední hodnota je vypočtena podle vztahu (7) a směrodatná odchylka je vypočtena podle vztahu (8). Zkoušení vzorků probíhalo při laboratorní teplotě. Po odzkoušení všech připravených vzorků pro zkoušku štípání rázem pomocí klínu, proběhlo jejich zhodnocení dle typu porušení.



Obr. 27 Charpyho kladivo

### 3.4.3 Vyhodnocení výsledků

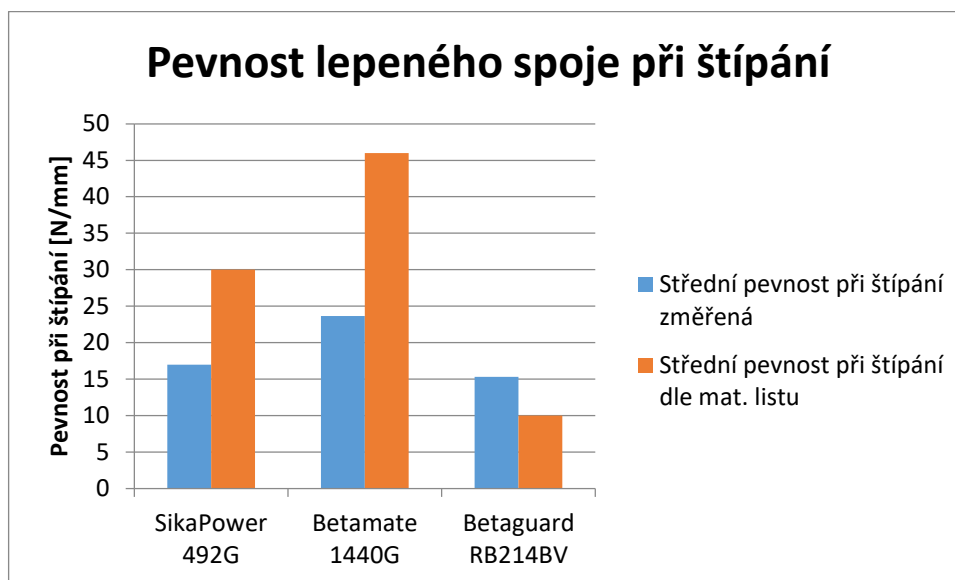
Výsledky zkoušky štípání rázem pomocí klínu jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Pevnost lepeného spoje při štípání

| Lepidlo           | Střední pevnost při štípání změřená [N/mm] | Směrodatná odchylka [N/mm] | Střední pevnost při štípání dle mat. listu [N/mm] |
|-------------------|--|----------------------------|---|
| SikaPower 492G    | 16,98                                      | 1,72                       | 30  |
| Betamate 1440G    | 23,66                                      | 2,62                       | 46  |
| Betaguard RB214BV | 15,29                                      | 0,28                       | 10  |

Z tabulky s výsledky zkoušky štípání rázem pomocí klínu vyplývá, že největší střední pevnost při štípání má lepidlo Betamate 1440G, které dosáhlo pevnosti 23,66 N/mm. Následováno lepidlem SikaPower 492G s pevností 16,98 N/mm a lepidlem Betaguard RB214BV s pevností 15,29 N/mm.

Na obr. 28 jsou přehledně znázorněny výsledky pevnostní zkoušky při štípání, ze kterých vyplývá, že u lepidel Betamate 1440G a SikaPower 492G je úbytek pevnosti změřené oproti pevnosti uvedené v materiálovém listu. Konkrétně u lepidla Betamate 1440G o 48,56 % a u lepidla SikaPower 492G o 43,40 %. Naopak u lepidla Betaguard RB214BV vyšla pevnost o 52,90 % vyšší než je uvedené v materiálovém listu.



Obr. 28 Grafické znázornění výsledků pevnosti lepených spojů při štípání

Vyhodnocování typu porušení je provedeno podle normy ČSN EN ISO 10365. Výsledky druhů porušení pevnostní zkoušky na odlup lepených spojů jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 Druhy porušení lepeného spoje

| Lepidlo           | CF [%] | SCF [%] | AF [%] |
|-------------------|--------|---------|--------|
| SikaPower 492G    | 100    | 0       | 0      |
| Betamate 1440G    | 100    | 0       | 0      |
| Betaguard RB214BV | 100    | 0       | 0      |

U pevnostní zkoušky ve smyku byl vyhodnocen 100 % kohezní lom (CF) u všech použitých lepidel.

## 4 Diskuze výsledků

Pro experimentální část byly stanoveny tři cíle. Prvním cílem bylo zhodnocení naměřených pevností lepidel a porovnání s jejich pevností v materiálovém listu. Z výsledků všech pevnostních zkoušek lze vyčíst, že největší pevnost u všech zkoušek má lepidlo Betamate 1440G. Na druhou stranu vykazuje také největší pokles pevnosti změřené oproti pevnosti uvedené na materiálovém listu. Toto může být způsobené rozdílnými podmínkami zkoušek jako například: jiný druh plechu, jiný druh maziva, jiná tloušťka plechu atd. Jako druhé u všech pevnostních zkoušek skončilo lepidlo SikaPower 492G, které má také u některých zkoušek menší změřenou pevnost než pevnost uvedenou na materiálovém listu. A jako třetí u všech pevnostních zkoušek skončilo podle předpokladů lepidlo Betaguard RB214BV, které na druhou stranu má u zkoušky pevnosti ve smyku a u zkoušky pevnosti při štípání větší změřenou pevnost oproti pevnosti v materiálovém listu. Bohužel u zkoušky pevnosti v odlupu není uvedena pro toto lepidlo pevnost v materiálovém listu. Z experimentu můžeme vyvodit takový závěr, že ačkoli se podmínky lišily v tloušťce plechu, druhu plechu nebo v něčem jiném tak na epoxidová lepidla to mělo negativní vliv, zatímco na kaučukovité lepidlo, které je více pružné, to mělo pozitivní vliv.

Druhým cílem bylo porovnat výsledky všech pevnostních zkoušek mezi sebou. Z tabulek výsledků všech pevnostních zkoušek vyplývá, že největší pevnost a to hned o několik řádů má lepený spoj při zatěžování smykem. To souhlasí s teorií lepených spojů. Jedním z důvodů je, že lepený spoj je při zatěžování smykem namáhán po celé lepené ploše, zatímco při zatěžování na odlup nebo štípáním je lepený spoj namáhán vždy po celé šířce spoje, ale pouze v jednom řezu celé délky. Plocha namáhání je tak několika násobně menší než při zatěžování smykem. Ze zkoušek pevnosti na odlup a zkoušky štípání rázem, vyšla větší pevnost u zkoušky štípání rázem. To také souhlasí s teorií lepených spojů. Tento výsledek může mít více důvodů, například, že na klín působí tření nebo to že při zkoušce štípáním pomocí klínu je oproti zkoušce pevnosti na odlup použita vyšší rychlost. Bylo prokázáno, že při vyšších rychlostech zatěžování odolávají lepené spoje více (viz kapitola 2.4.2.3 Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepeného spoje).

Třetím cílem bylo porovnat druhy porušení u jednotlivých zkoušek. Obecně platí, že pro lepený spoj je výhodnější kohezní druh porušení. Adhezní druh porušení je pro lepený spoj nevhodný, jelikož tento druh porušení svědčí o nedokonalosti přilnutí



lepidla k povrchu substrátu. V praxi se obecně připouští pouze 10 % množství adhezního porušení. Z tabulky druhů porušení vyplývá, že u většiny lepidel je tato podmínka splněna. Pouze u lepidla Betamate 1440G u pevnostní zkoušky ve smyku tato podmínka splněna není, protože bylo změřeno 80 % kohezního porušení a 20 % adhezního porušení. V automobilovém průmyslu by 20 % adhezní porušení nebylo přípustné, proto bych u lepidla Betamate 1440G u zkoušky pevnosti ve smyku doporučil opakování měření.





## 5 Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlivem způsobu zatěžování lepeného spoje. Práce se skládá ze dvou částí, teoretické a experimentální. V teoretické části je nejprve rozebrána teorie, návrh a konstrukce lepeného spoje. Tedy celkový vznik lepeného spoje a poté jeho hodnocení pomocí zkoušek a v poslední řadě použití lepeného spoje ve stavbě automobilu.

Na teoretickou část navazuje část experimentální, ve které byly stanoveny tři cíle. Prvním cílem bylo zhodnocení pevnosti lepidel a porovnání změřených pevností s pevnostmi v materiálovém listu. Vyhodnocování probíhalo pomocí: zkoušky pevnosti ve smyku dle normy PV 12.35, zkoušky pevnosti na odlup dle normy ISO 11339 a zkoušky štípáním rázem pomocí klínu dle normy ISO 11343. Byla využita lepidla SikaPower 492G, Betamate 1440G a Betaguard RB214BV. Použito bylo mazivo ANTICORIT PL 3802 – 39S. U zkoušky pevnosti ve smyku vykazalo nejvyšší pevnost lepidlo Betamate 1440G a to 18,40 MPa jako druhé bylo lepidlo SikaPower 492G s pevností 17,79 MPa a poslední lepidlo Betaguard RB214BV mělo pevnost 9,20 MPa. U zkoušky pevnosti na odlup byla měřena střední odlupovací pevnost, nejvyšší pevnosti dosáhl opět lepidlo Betamate 1440G s velikostí 8,98 N/mm druhé bylo lepidlo SikaPower 492G s velikostí pevnosti 6,47 N/mm a nejmenší pevnost na odlup mělo lepidlo Betaguard RB214BV o velikosti 3,09 N/mm. U zkoušky štípáním rázem pomocí klínu byla měřena střední pevnost při štípání, kterou mělo nejvyšší lepidlo Betamate 1440G s velikostí 23,66 N/mm, druhou nejvyšší pevnost mělo lepidlo SikaPower 492G o velikosti 16,98 N/mm a třetí nejvyšší pevnost mělo lepidlo Betaguard RB214BV o velikosti 15,29 N/mm. Ve všech prováděných zkouškách vyšlo nejlépe lepidlo Betamate 1440G, které bych doporučil nejen pro lepené spoje zatěžované smykem, ale i pro lepené spoje zatěžované na odlup nebo štípáním. Na druhou stranu by mělo toto lepidlo dle materiálových listů mít daleko vyšší pevnosti ve všech zkouškách.

Druhým cílem práce bylo porovnat výsledky všech pevnostních zkoušek mezi sebou. Z tabulek výsledků všech pevnostních zkoušek vyplývá, že největší pevnost a to hned o několik řádů má lepený spoj při zatěžování smykem. Dále ze zkoušek pevnosti na odlup a zkoušky štípáním rázem, vyšla větší pevnost u zkoušky štípáním rázem.





Třetím cílem bylo porovnat druhy porušení u jednotlivých zkoušek. Největší procentuální zastoupení u druhu porušení má kohezní lom. Pouze u lepidla Betamate 1440G při zkoušce smykem bylo naměřeno 80 % kohezní lom a 20 % adhezní lom. Obecně platí, že pro lepený spoj je výhodnější kohezní druh porušení. Adhezní druh porušení je pro lepený spoj nevhodný, jelikož tento druh porušení svědčí o nedokonalosti přilnutí lepidla k povrchu substrátu.

Výsledky experimentálního měření této práce ověřily hodnoty pevnostních vlastností z materiálových listů lepidel a teoretické předpoklady o vlivu způsobu zatěžování na pevnost lepeného spoje. Zjištěné závěry doplní další poznatky z oblasti lepení v průmyslové praxi.





## Použitá literatura

- [1] DOUBEK, Pavel a Michaela KOLNEROVÁ. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-170-2.
- [2] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
- [3] LANG B.: *Vliv teploty na pevnost lepeného spoje*. Diplomová práce. TUL 2006.
- [4] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka - 5. svazek*. 1. vyd. Praha: SCIENTIA, 1994. ISBN 80-85827-5-10.
- [5] KOVAČIČ, Ľudomír. *Lepenie kovov a plastov*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1980.
- [6] Lepení [online]. [cit. 10. 9. 2017]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp)
- [7] MELEZÍNEK, Otakar. *Lepení kovů ve strojírenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [8] Lepení [online]. [cit. 2. 10. 2017]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/14.html>
- [9] Lepení [online]. [cit. 9. 10. 2017]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)
- [10] Lepení [online]. [cit. 14. 10. 2017]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/lepeni-ve-vyrobe-karoserie>
- [11] Lepení [online]. [cit. 14. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [12] Lepení [online]. [cit. 14. 10. 2017]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8581/holcmanov%C3%A1\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8581/holcmanov%C3%A1_2009_bp.pdf?sequence=1)
- [13] Lepení [online]. [cit. 5. 12. 2017]. Dostupné z: <http://plastum.cz/lepeni/>
- [14] LOCTITE, *Worldwide Design Handbook*. 2. vyd. Mainz: Erasmusdruck GMmbH, 1998. 452s ISBN 0-9645590-0-5
- [15] POKORNÝ, Jiří. *Lepení a tmelení v dílně a domácnosti*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2000. 104 s. ISBN 80-7169-857-1
- [16] LORENZ L.: *Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepeného spoje*. Bakalářská práce. TUL 2007
- [17] HISEM, P.; ELISOVÁ, L.: *Využití lepení ve stavbě automobilových karoserií*. Tématický magazín, Svařování - dělení – spojování materiálů. TM vydavatelství. Praha 5/2003, s. 32, ISSN 1212 - 40444.
- [18] Lepení [online]. [cit. 14. 12. 2017]. Dostupné z: <http://www.dow.com/en-us/transportation/solutions/adhesives>





## Seznam příloh

Příloha A: Materiálový list maziva ANTICORIT PL 3802 – 39S

Příloha B: Materiálový list lepidla SikaPower 492G

Příloha C: Materiálový list lepidla Betamate 1440G

Příloha D: Materiálový list lepidla Betaguard RB214BV

Příloha E: Materiálový list substrátu HDG

Příloha F: Materiálový list C-sol (extra)

Příloha G: Zkouška pevnosti ve smyku dle PV 12.35

Příloha H: Zkouška pevnosti na odlup dle ISO 11339

Příloha CH: Zkouška štípáním rázem pomocí klínu dle ISO 11343





## Produkt- INFORMACE



### ANTICORIT PL 3802-39 S

PI 3-4211

#### Popis

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikorozi olej i tvářecí mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikorozi ochrana i za extrémních klimatických podmínek
- optimální tvářecí výkon i pro obtížné tahy
- vhodnost pro zušlechťené plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy
- snadná odstranitelnost i po stárnutí a tepelném zatížení
- kompatibilita se všemi běžnými lepicími systémy při výrobě automobilů
- vysoká snášenlivost s katalytickými laky a laky s nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromátů.

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářecí látka bezprostředně před tvářením.

#### Použití

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválčováním.

Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C.

Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40 °C minimálně 5 let.

#### Charakteristika

| Vlastnosti                             | Jednotka           | Údaje    | Zkouška dle                       |
|--|--------------------|----------|-----------------------------------|
| Číslo barvy                            | -                  | 3,5      | DIN ISO 2049                      |
| Hustota při 15 °C                      | kg/m <sup>3</sup>  | 915      | DIN 51 757                        |
| Viskozita při 40 °C                    | mm <sup>2</sup> /s | 60       | DIN 51 562                        |
| Bod vzplanutí                          | °C                 | 196      | DIN ISO 2592                      |
| Obsah vody                             | % hmotnosti        | < 0,2    | DIN 51 777-2                      |
| Odstranitelnost                        | -                  | vyhovuje | VW 52.02                          |
| Obsah aromátu v základovém oleji       | % hmotnosti        | < 7      | Zkušební metoda VN čísl. TML 1 *) |
| <b>Antikorozi vlastnosti (St 1405)</b> |                    |          |                                   |
| Kondenzační komora                     | h                  | 200      | ASTM D 1748                       |
| Klimatická komora                      | cykly              | > 20     | DIN 51 386-1                      |
| Solná komora                           | h                  | 24       | DIN 50 021 SS                     |

\*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited





Product Data Sheet  
Version 02 / 2009

## SikaPower®-492G

Semi crash resistant hem flange adhesive

### Technical Product Data

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Chemical base   | Epoxy hybrid             |
| Color (CQP <sup>1</sup> 001)  | black                    |
| Hazard designation  | Xi, N                    |
| Non-volatile compounds (CQP 576)  | > 99 %                   |
| Density before / after curing (CQP 576)   | 1.30 / 1.35 kg/l approx. |
| Application temperature   | 50 - 60°C (nozzle)       |
| Viscosity; 50°C, oscillation 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1)                           | 1000 Pa·s approx.        |
| Curing time / substrate temperature   | 20 min / 175°C           |
| Lap shear strength <sup>2</sup> , at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)                        | 20 MPa approx.           |
| Lap shear strength <sup>2</sup> , -30°C / +80°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)         | 22 / 15 MPa approx.      |
| Lap shear strength <sup>2</sup> , 20' 160°C / 40' 200°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465) | 19 / 18 MPa approx.      |
| Lap shear strength <sup>3</sup> , 1.5 mm metal sheet, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)    | 30 MPa approx.           |
| Dynamic resistance to cleavage <sup>4</sup> (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)                      | 30 N/mm approx.          |
| T-Peel strength <sup>5</sup> (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)                                     | 9 N/mm approx.           |
| Tensile strength <sup>6</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)                                      | 30 MPa approx.           |
| Elongation at break <sup>6</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)                                   | 8% approx.               |
| Glass transition temperature, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)                    | 105°C approx.            |
| Shelf life, at 23°C (CQP 584-1)   | 8 months                 |

<sup>1</sup> CQP = Corporate Quality Procedures

<sup>2</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

<sup>3</sup> H320 ZE 50/50 1.5 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

<sup>4</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 20 x 30 x 0.3 mm; impact speed: 2.0 m/s.

<sup>5</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer 25 x 100 x 0.3 mm; rate of extension: 100 mm/min.

<sup>6</sup> Rate of extension: 2 mm/min.

### Description

SikaPower®-492G (LVP) is a one-part, warm-applied, heat-curing high-structural, impact modified adhesive based on epoxy.

SikaPower®-492G (LVP) is designed for sheet metal assembly work in the body shop and is cured with heat, e.g. in the paint oven, to form a high-performance thermoset.

SikaPower®-492G (LVP) is manufactured in accordance with ISO 9001/ 14001 quality assurance system and with the Responsible Care program.

### Product Benefits

- One-part
- High strength
- Adheres well to oily substrates
- Very high resistance to washing out
- Suitable for joining different metals
- Contains fine glass beads
- Distortion-free joining
- Provides protection against corrosion
- No damage to substrates
- Contains no solvents, PVC or isocyanates

### Areas of Application

SikaPower®-492G (LVP) is suitable for high structural bonding of different types of metal. As an adhesive product it is designed for use as a hem flange bonding adhesive. The glass beads contained in the adhesive provide a uniform layer of adhesive in the gap and help to reduce excessive material squeeze out. The bonding of oily substrates (standard anti-corrosion treatment and deep drawing oils, approx. 2 g/m<sup>2</sup>) is possible because of the oil uptake during the heat curing that is an essential part of the process.





### Method of Application

SikaPower® -492G (LVP) is applied in bead form with a recommended diameter of 1 to 3 mm. SikaPower® -492G (LVP) is filtered with a mesh size of 300 µm before packaging.

Because the viscosity is temperature-dependent (see Fig. 1) all parts of the application system that are in contact with the adhesive must be heated. We recommend phased temperature increase from 40°C at the follower plate to 55°C at the application unit (nozzle). To prolong the life of the packings and facilitate removal of the cut foil disk we strongly recommend a preheating of the new drum for 15 minutes. This will make it easier to remove the foil. During longer breaks (e.g. over night or at the weekend) the equipment must be cooled down to ambient temperature and switched-off and the system (pump and dosage unit) depressurized.

The glass beads contained in the adhesive do not affect the application with standard application systems.

The time between application and curing must be as short as possible, since any uptake of moisture in the interim (climate-dependent) can cause formation of blisters during heat curing. As a guide to process planning, blister formation was not detected after conditioning of uncured parts at 23°C and 80% relative humidity in joined state for two weeks, a drop in dynamic resistance to cleavage was not detected even after four weeks. However, if suitable conditions cannot be guaranteed, pre-curing for 15 minutes at 160°C (substrate temperature) is necessary.

For advice on project-specific application techniques please contact the Corporate System Engineering department (Sika Services AG). For advice on suitable applications (Technical Service) please contact Sika Automotive GmbH.

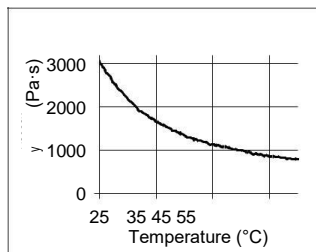


Figure 1: Viscosity as a function of temperature (Equipment: Physica)

### Cure Mechanism

SikaPower® -492G (LVP) is cured by heat. The cure-rate depends both on temperature and elapsed time. The most suitable heat sources are convection ovens. The maximum temperature must not exceed 220°C.

### Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheet
- Pump specification

### Packaging Information

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Cartridges            | 310 ml |
| Hobbock <sup>1)</sup> | 23 l   |
| Hobbock               | 50 l   |
| Drum                  | 195 l  |

<sup>1)</sup> 280 mm diameter

### Value Base

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

### Local Restrictions

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact de-scription of the application fields.

### Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of the chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

### Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its product. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:  
[www.sika.ch](http://www.sika.ch)  
[www.sika.com](http://www.sika.com)

Sika Automotive GmbH  
Reichsbahnstraße 99  
D-22525 Hamburg  
Germany  
Tel.+49405400-0  
Fax+494054002-241





**Dow Automotive**

**Technical Datasheet**

# BETAMATE™ 1440G

## Crashresistant Structural Adhesive

### Description / Application:

**BETAMATE™ 1440G** is a one component, epoxy based adhesive filled with glass beads especially developed for the body shop. The adhesive is used in the car to increase the operation durability, the crash performance and the body stiffness.

### Properties:

- Excellent process and storage stability
- Excellent adhesion to automotive steels, including coated steels and pretreated aluminium with good tolerance to oils and dry lubes
- Stiffness and crash stability increase of the entire car body
- High durability of the adhesive and the adhesive bond
- Protection of the metal and weld points against corrosion due to its sealing capability
- Compatible with other mechanical and thermal joining techniques
- Compatible with the electrocoat process
- Wash-off resistant
- Precurable
- Up to six weeks open time in the uncured bond

### Application:

The product is cold applicable or can be applied at temperatures of about 30 to 60°C. It can be applied as a bead, can be swirled or jet streamered. It can be applied with the following parameters:

|  |   |
|--|---|
| <b>application speed</b>   | 200 - 500 mm/s  |
| <b>temperatures:</b><br>follower plate<br>follower plate - doser | <b>recommended:</b><br>cold pumpable or 30 - 40°C<br>Per heating zone approx. 5°C heat increase.<br>40 - 55°C |
| nozzle   | 45 - 60°C   |

For an optimum tack of the adhesive, the parts to bond should be stored at 15°C or higher. In case of a longer application break (such as longer than 48 hours) the heating of the application equipment should be switched off.

All Dow Automotive products are primarily developed in co-operation with the automobile manufacturers, according to their needs and their specifications; they are approved for the specific applications as defined by the customer.

The use of the product other than approved application have to be released in written form by the Technical Service of Dow Automotive.





## Technical Data:

|  |   |
|--|---|
| <b>Basis</b>   | epoxy resin   |
| <b>Colour</b>  | Green-blue  |
| <b>Density 23°C</b> (DIN 52451)  | 1.25 g/ml   |
| <b>Solid Content</b>   | > 99%   |
| <b>Viscosity/Yield Point</b><br>(45°C, Bohlin, Casson)   | 46 Pas / 410 Pa   |
| <b>G' at 0.05% deformation, h* and tan δ at 10% deformation</b><br>(AntonPaar MCR 302, DIN 54458 at 45°C)                          | 22000 Pa / 230 Pas / 2.5  |
| <b>Curing Condition</b>  | > 140°C / 30 minutes  |
| <b>Standard Curing</b>   | 180°C / 30 minutes  |
| <b>Tensile Strength</b><br>(DIN EN ISO 527-1)  | 31 MPa  |
| <b>Elongation at Break</b><br>(DIN EN ISO 527-1)   | approx. 10 %  |
| <b>E-Modulus</b><br>(DIN EN ISO 527-1)   | 1830 MPa  |
| <b>Lap Shear Strength</b> (DIN EN 1465)<br>(CRS 14O3, 1.5 mm)<br>Adhesive layer thickness: 0.2 mm<br>Bonded area: 25x10 mm         | 30 MPa  |
| <b>T-Peel Strength</b> (DIN EN ISO 11339)<br>(DX56 D Z100 MC, 0.8mm)<br>Adhesive layer thickness: 0.2 mm<br>Bonded area: 25x100 mm | 10 N/mm   |
| <b>Impact Peel Strength</b> (ISO 11343)<br>(CRS 14O3, 1mm, 2m/s)<br>Adhesive layer thickness: 0.2 mm<br>Bonded area: 20x30 mm      | 46 N/mm   |
| <b>Bonding Surface Preparation</b>   | The material has been designed to tolerate up to 5 g/m <sup>2</sup> of surface oil.   |
| <b>Application Tool</b>  | <b>Cartridges:</b> hand-operated or pneumatic heated gun with mechanical piston.<br><b>Drums, pails:</b> heated pumping system. |
| <b>Cleaning</b>  | Uncured material can be removed with BETACLEAN™ 3510.<br><b>Attention:</b> The contact with bonded areas should be avoided.     |
| <b>Containers</b>  | Drums, pails: 25 kg, 45 kg and 200 kg (re-usable pails with PE-liner).<br>Cartridges: 0,36 kg                                   |
| <b>Shelf life</b>  | At temperatures between 5 and 15°C: 12 months<br>At temperatures between 15 and 28°C: 10 months                                 |

The given data are standard values.

---







## Health and Safety

### Bulk Exothermic Reaction

The material curing reaction is exothermic. If the material is held in bulk the reaction is accompanied by a rapid build-up of exothermic heat. To avoid the risk of this bulk exothermy, containers of the material should in no circumstances be heated by e.g. hot plates or simple drum heaters. If heating a bulk quantity of the material is considered necessary, advice should be sought.

### Caution

The adhesive resins are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should also be taken to prevent the uncured materials, from coming into contact with skin, since people with particularly sensitive skins may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleaned at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. For further and more detailed precaution measures see the Health and Safety Data Sheet.

### **Notice:**

Quality is our utmost goal. Dow Automotive works according to a modern quality management system conforming to international standard ISO/TS 16949.

All sites of Dow Automotive are certified according to ISO 14001.

All statements, technical information and recommendations contained in this document are based on tests that we deem reliable. However, the customer is responsible to determine the suitability of the product for customer's intended purpose. No freedom from any patent owned by Dow or others is to be interfered.

NO WARRANTIES ARE GIVEN. ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED

#### **Dow Automotive (Schweiz)**

Dow Europe GmbH  
Bachtobelstrasse 3  
CH-8810 Horgen  
Tel. +41 (0)44 728 21 11  
Fax +41 (0)44 728 29 35

#### **Dow Automotive (Deutschland) GmbH**

Am Kronberger Hang 4  
D-65824 Schwalbach  
Tel. +49 (0)619 65 66 0  
Fax +49 (0)6196 566 444

#### **Dow Automotive (USA)**

The Dow Chemical Company  
250 Harmon Road  
Auburn Hills USA  
MI – 48326  
Tel. +001 248 391 63 00  
Fax +001 248 391 64 17

#### **Dow Automotive (España)**

Dow Chemical Iberica S.L.  
Calle Camino del Corral, 7 (Pol. Ind. Alcamar)  
E-28816 Camarma de Esteruelas  
Tel. +34 (9)1 886 61 43  
Fax +34 (9)1 885 75 60

#### **Dow Automotive (UK)**

Dow Chemical Company Limited  
2 Heathrow Boulevard  
284 Bath Road  
West Drayton  
Middlesex, UB7 0DQ  
Tel. +44 (0)208 917 500  
Fax +44 (0)208 917 5400

#### **Dow Automotive (Italy)**

Dow Italia s.r.l.  
Via Patroclo 21  
I-20151 Milan  
Tel. +39 (0)2 48 221  
Fax +39 (0)2 48 22 40 66





**Dow Automotive**

Technisches Datenblatt

## BETAGUARD RB 214 BV

Abdichtungsklebstoff und Bördelnahtverkleber mit hoher Festigkeit /  
Impact Beständigkeit für Applikation im Rohbau

### Anwendung / Beschreibung :

BETAGUARD RB 214 BV ist ein kalt-pumpbarer, Kautschuk-basierender, durchschweisbarer Abdichtungsklebstoff mit hoher Festigkeit.

Er findet dort Einsatz, wo Abdichtungsoperationen oder Verklebungen kombiniert mit Schweisspunkten im Bereich Rohbau gefragt sind. Das Material kann auch als Bördelnahtverkleber verarbeitet werden. Betaguard RB 214 BV kann mit Induktion ( 20 Sek. bei 180°C) vorgehärtet werden.

Haftung auf öligen Metallsubstraten im Einsatz in der Automobil-Industrie, Durchschweisbarkeit ohne Verbrennung oder starke Geruchsbildung, gute Verträglichkeit zu Vorbehandlungs- und KTL-Bädern sowie gute Auswaschbeständigkeit für Fügedicke unter 2 mm sind gegeben.

Nach Aushärtung im KTL-Ofen weist BETAGUARD RB 214 BV gute Festigkeitswerte und hohe Impact Beständigkeit auf und zeigt ein gutes Korrosionsverhalten.

### Technische Daten :

|                                      |         |  |
|--------------------------------------|---------|--|
| Basis                                |         | Synthetisches Kautschuk                      |
| Farbe                                |         | Grau-schwarz                                 |
| Dichte                               |         | ca. 1.5 g/cm <sup>3</sup>                    |
| Trockengehalt (1.5 Std. / 165°C)     |         | > 99.0 %                                     |
| Auslaufzeit (Severs)                 |         | 50 – 150 g. / Min.                           |
| (Düse 5 mm Durchmesser 3 bars; 35°C) |         |  |
| Volumenausdehnung                    |         | 5 - 10 %                                     |
| Wäscher- und KTL-Verträglichkeit     |         | gut  |
| Einbrennbedingungen                  | minimum | 25 Min. / 155°C oder standard Lacklinienofen |
|                                      | maximum | 30 Min. / 220°C oder standard Lacklinienofen |
| Abrutschverhalten                    |         | < 2 mm. bei 35°C.                            |





|  |   |
|--|---|
| <b>Zugscherfestigkeit (DIN 53283)</b><br>12,5 x 25 mm            | approx. 2,5 MPa mit Füge 2 mm, dick<br>approx. 3 – 5 MPa mit Füge 0,2 mm, dick                            |
| <b>Impact Beständigkeit (ISO 11 343)</b><br>Schichtdicke 0,2 mm. | > 10 NJ/mm. mit Energie 100 – 300 J. / m<br>je nach Einbrennbedingungen                                   |
| <b>Korrosionsbeständigkeit</b>                                   | gut (ohne Unterwanderungskorrosion) nach 9 Zyklen 3C<br>(D59 1336) auf Rohstahl und Feuerverzinktem Stahl |
| <b>Temperaturbeständigkeit</b>                                   | max. 60 Min. 200°C  |
| <b>Lagerfähigkeit</b>  | > 3 Monate nach Auslieferung bei 5 - 35°C   |

### Verarbeitung :

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Vorbereitung der Klebefläche</b> | keine (Kleben auf öligem Blech mit max. 3.5 g Öl/m²)   |
| <b>Applikation</b>                  | kalt pumpbar mit handelsübliche Kolben-, Zahnrad- oder<br>Rotationspumpen für hobbocks und Fässer<br>Minimum-Verhältnis bei Kolbenpumpen muss noch bestimmt<br>werden. |
| <b>Auftragstemperatur</b>           | Minimum 25°C. Maximum 45°C<br>Bei 35°C wirkt eine deutliche Verbesserung der<br>sofortigen Haftung dank schnellerer Ölaufnahme.  |
| <b>Lieferform</b>                   | Kartuschen mit 300 ml Inhalt<br>Hobbocks mit 22 Liter Inhalt<br>Fässer mit 200 Liter Inhalt  |

#### **Dow Automotive Qualitätsmanagement:**

Qualität ist unser oberstes Gebot. Dow Automotive arbeitet mit einem modernen Qualitätsmanagement-System, das die internationalen Anforderungen nach ISO/TS 16949:2002 erfüllt.  
Umwelt: Alle Standorte von Dow Automotive sind nach ISO 14001:1996 zertifiziert.

Alle vorstehenden Angaben, technischen Daten und Empfehlungen beruhen auf Prüfungen, die nach unserem Ermessen zuverlässig sind. Dennoch kann die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben, Daten und Empfehlungen nicht garantiert werden, da der Verwender vor Gebrauch des Produktes dessen Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck selbst prüfen sollte.

Dow übernimmt keine Haftung aus diesem Dokument, und sämtliche Garantien ausdrücklicher oder stillschweigender Art, einschliesslich der stillschweigenden Gewährleistung für Verkaufsfähigkeit und Eignung für einen bestimmten Zweck werden hiermit ausgeschlossen. Weder Verkäufer noch Hersteller sind, aus welchem Rechtsgrund auch immer, für direkten, zufälligen oder kausal bedingten Schaden aus der Verwendung oder der Unfähigkeit der Verwendung des Produktes haftbar. Dow's einzige Verpflichtung ist der Ersatz von schadhafte Produkten.

Dow France S.A.S  
Z.I. Nord, route d'Amiens  
F-60130 St-Just-en-Chaussée  
Tel. +33 (0) 3 44 77 81 00  
Fax. +33 (0) 3 44 77 81 81

Dow Automotive UK Ltd.  
GB-Nuneaton Warwickshire  
CV107QT  
Tel. +44 (0) 1203 35 72 00  
Fax. +44 (0) 1203 35 72 57

Dow Automotive (Deutschland) GmbH  
Am Kronberger Hang 4  
D- 65824 Schwalbach  
Tel. +49 (0) 6196 566 0  
Fax. +49 (0) 6196 566 444

Dow Automotive (Italien) SRL  
Via Patrobbi (Sales office)  
I-20151 Milan  
Tel. +39 (0) 2 48 221  
Fax. +39 (0) 2 48 22 40 66

Dow Automotive (España) S.L.  
O Camino del Corral, 7  
E-28818 Camarma de Esteruelas (Madrid)  
Tel. +34 (9) 1888 81 43  
Fax. +34 (9) 1888 75 80

Dow Automotive (Switzerland)  
Wolleraustrasse 15-17  
CH-8607 Freienbach  
Tel. +41 (0) 55 416 51 11  
Fax. +41 (0) 55 416 82 20

Dow Automotive (USA)  
1250 Harmon Road  
Auburn Hills, MI - 48326  
Tel. +001 248 391 83 00  
Fax +001 248 391 84 17





## Materiálový list substrátu DX54 DZ100

( červeně podtržen použitý materiál )

### Tenké plechy a svitky žárově pozinkované

|  |  |                                       |   |                            |
|--|--|---------------------------------------|---|----------------------------|
| EN 10327   | Technické dodací podmínky  |                                       |   |                            |
| EN 10143   | Tolerance  |                                       |   |                            |
| EN 10327   | Žárově pozinkované   |                                       |   |                            |
| Mechanické vlastnosti  | Označení materiálu   | Mez skluzu $R_s$<br>N/mm <sup>2</sup> | Mez pevnosti $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Tažnost $A_{50}$<br>% min. |
|  | DX51D+Z  | –                                     | 270–500                                 | 22                         |
|  | DX52D+Z  | 140–300                               | 270–420                                 | 26                         |
|  | DX53D+Z  | 140–260                               | 270–380                                 | 30                         |
|  | DX54D+Z  | 160–220                               | 260–350                                 | 36                         |
| Vrstva žárového pozinku  | 100, 140, 200, 275, 350, 450 a 600 g/m <sup>2</sup><br>Oboustranně |                                       |   |                            |
| Povrchové úpravy   |  |                                       |   |                            |
| Galfen dle EN 10327 (ZA) – obsah hliníku v zinkové vrstvě ca. 5 %  |  |                                       |   |                            |
| Galvalume dle EN 10326 (AZ) – obsah hliníku v zinkové vrstvě ca. 55 %  |  |                                       |   |                            |
| Galvannealed dle EN 10327 a EN 10326 (ZF) – ferocinek  |  |                                       |   |                            |
| Povrch   |  |                                       |   |                            |
| A/B/C  |  |                                       |   |                            |
| N/M  |  |                                       |   |                            |
| c/o/co   |  |                                       |   |                            |
| A = obvyklý; B = leštělý; C = nejlepší; N = obvyklý kulič (roztahovávací kulič); M = polírovaný kulič; c = chemicky posrovaný; o = olejovaný |  |                                       |   |                            |
| Rozměry  |  |                                       |   | v mm                       |
|  | Svítek/páska   |                                       | Plech/přístřih                          |                            |
| Tloušťka   | 0,30–5,00  |                                       | 0,40–5,00                               |                            |
| Šířka  | 5,00–1.600   |                                       | 100–1.600                               |                            |
| Vnitřní průměr svitku  | 300/400/500/508/610  |                                       | –                                       |                            |
| Vnější průměr svitku   | max. 2.100   |                                       | –                                       |                            |
| Délka  | –  |                                       | 300–7.500                               |                            |





## C-sol (Extra)

|                    |  |                         |
|--------------------|--|-------------------------|
| <b>Popis:</b>      | kapalina C-sol Extra je směsí ropných uhlovodíků bez obsahu halogenů   |                         |
| <b>Použití:</b>    | k bezoplachovému odmašťování a čištění dílů za studena v postřikových, máčecích nebo ručních strojích, ideální pro opravy, údržby, průmyslové provozy s hrubším znečištěním, pro mytí elektrických dílů a zařízení   |                         |
| <b>Vlastnosti:</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ vynikající čistící schopnost</li><li>➤ účinnost na většinu olejů, tuků, vazelin a vosků</li><li>➤ vyhovující odpařivost</li><li>➤ nepoškozuje čištěný povrch</li><li>➤ nezpůsobuje korozi materiálů</li><li>➤ ideální pro ocel, hliník, zinek, měď, titan</li><li>➤ vysoká sytnost</li><li>➤ zasychá bez map</li><li>➤ obsah aromatů do 0,03 % hm</li><li>➤ minimální zatížení ovzduší</li></ul> |                         |
| <b>Parametry:</b>  | bod vzplanutí  | 63 °C                   |
|                    | hustota při 15°C   | 790 kg/m <sup>3</sup>   |
|                    | viskozita při 25°C   | 1,23 mm <sup>2</sup> /s |
|                    | třída hořlavosti   | III.                    |
| <b>Balení:</b>     | 50 l, 160 l, 200 l   |                         |
| <b>Likvidace:</b>  | společnost QTS CZ s.r.o. garantuje na území ČR výměnu a odvoz použité náplně   |                         |

QTS CZ s.r.o.  
Kydlinovská 245  
503 01 Hradec Králové  
www.qts.cz

Tel.: 602 412 577  
495 532 763  
prodej@qts.cz





Příloha G

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - PV12.35

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betamate 1440G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

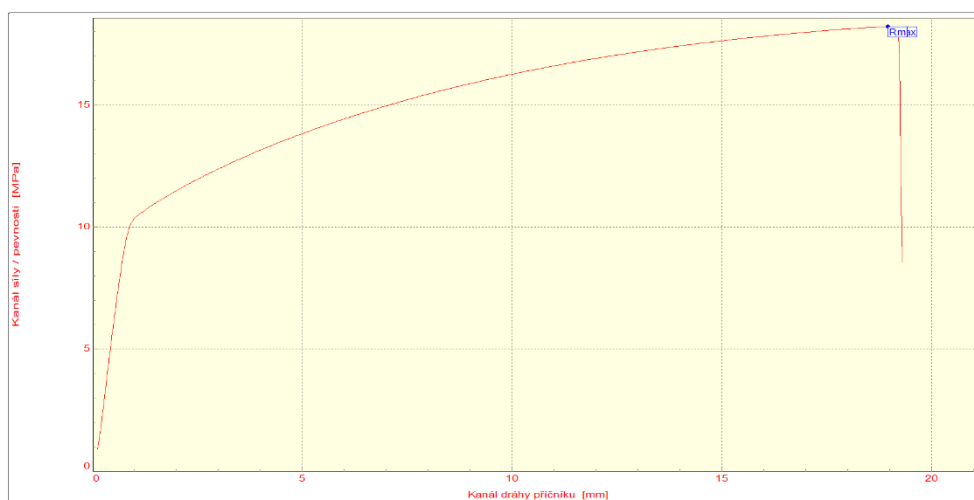
CF: : 80

SCF: :

AF: : 20

| Číslo zkoušky | Fmax N |
|---------------|--------|
| 1             | 4572.9 |
| 2             | 4617.8 |
| 3             | 4664.1 |
| 4             | 4595.7 |
| 5             | 4553.6 |

| Statistická hodnota | Fmax N |
|---------------------|--------|
| Počet zkoušek       | 5      |
| Průměrná hodnota    | 4600.8 |
| Směrodatná odchylka | 42.8   |



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>





## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - PV12.35

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : SikaPower 492G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

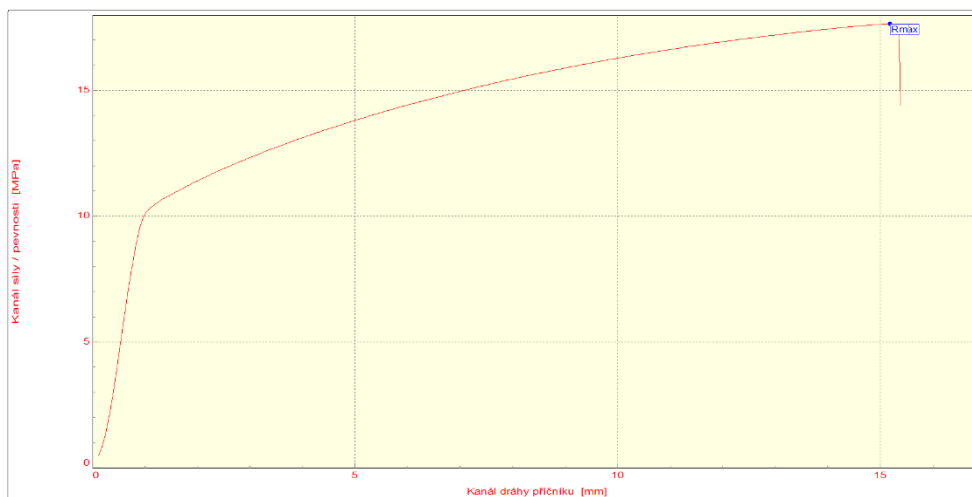
CF: : 100

SCF: :

AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax N |
|---------------|--------|
| 1             | 4364.9 |
| 2             | 4365.5 |
| 3             | 4536.4 |
| 4             | 4542.2 |
| 5             | 4465.0 |
| 6             | 4408.3 |

| Statistická hodnota | Fmax N |
|---------------------|--------|
| Počet zkoušek       | 6      |
| Průměrná hodnota    | 4447.1 |
| Směrodatná odchylka | 80.3   |



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojní a strojírenské technologie

Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>





## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - PV12.35

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
Podmínky měření : Teplota RT, KAF 20kN  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

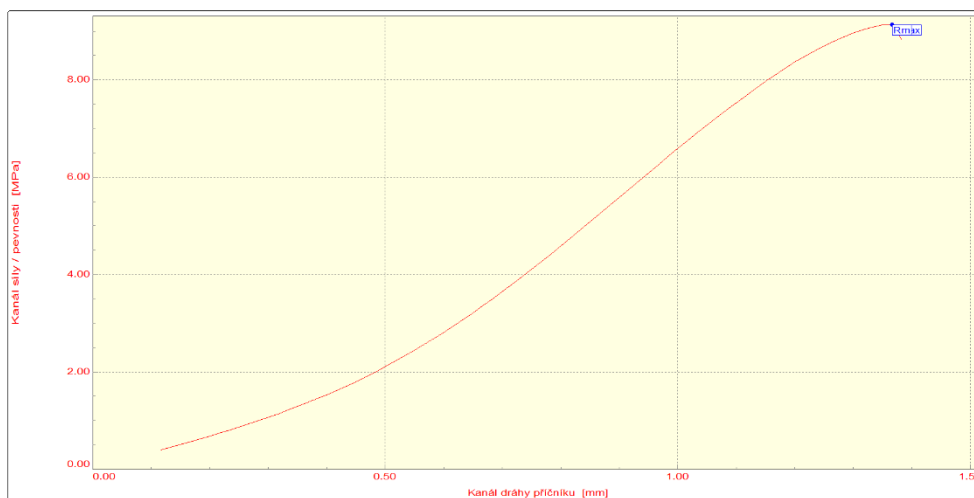
CF: : 100

SCF: :

AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax N |
|---------------|--------|
| 1             | 2317.6 |
| 2             | 2286.4 |
| 3             | 2345.0 |
| 4             | 2288.7 |
| 5             | 2282.9 |

| Statistická hodnota | Fmax N |
|---------------------|--------|
| Počet zkoušek       | 5      |
| Průměrná hodnota    | 2300.1 |
| Směrodatná odchylka | 31.2   |



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>







Příloha H

## ZKOUŠKA V ODLUPU DLE ISO 11339

### Vstupní hodnoty

Testované lepidlo: : Betamate 1440G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Rychlost zatěžování: : 100 mm/min  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

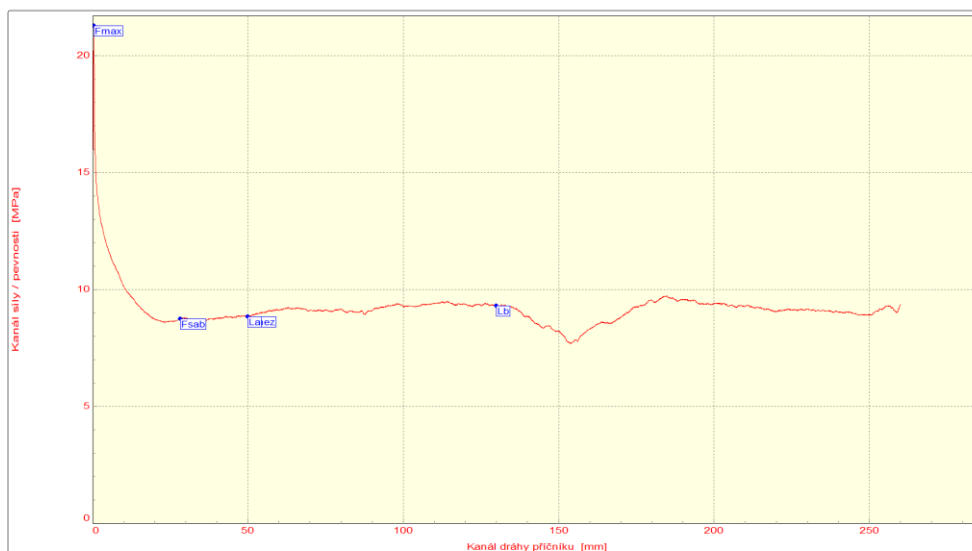
Příprava vzorků: Nanosení maziva. 60 min. kondicionace. Slepění vzorků.  
Vytvrzeno 180°C 20 min.  
Test při RT

### VÝSLEDKY

CF: : 100  
SCF: :  
AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax N | Fsab N/mm |
|---------------|--------|-----------|
| 1             | 532.34 | 9.22      |
| 2             | 575.36 | 9.25      |
| 3             | 545.74 | 8.79      |
| 4             | 466.56 | 9.10      |
| 5             | 557.50 | 8.52      |

| Statistická hodnota | Fmax N | Fsab N/mm |
|---------------------|--------|-----------|
| Počet zkoušek       | 5      | 5         |
| Průměrná hodnota    | 535.50 | 8.98      |
| Směrodatná odchylka | 41.65  | 0.31      |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>





## ZKOUŠKA V ODLUPU DLE ISO 11339

### Vstupní hodnoty

Testované lepidlo: : SikaPower 492G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Rychlost zatěžování: : 100 mm/min  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

Příprava vzorků: Nanosení maziva. 60 min. kondicionace. Slepění vzorků.

Vytvrzeno 180°C 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

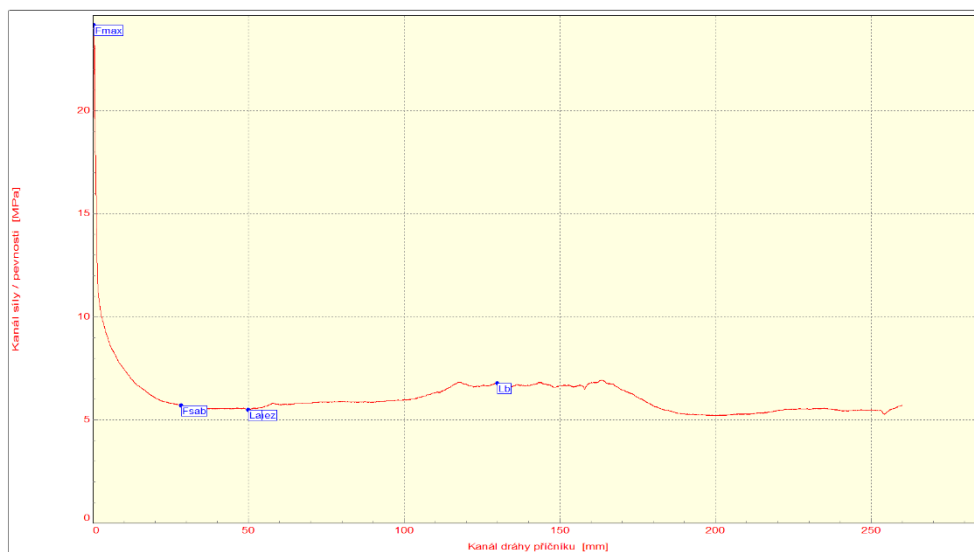
CF: : 100

SCF: :

AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax<br>N | Fsab<br>N/mm |
|---------------|-----------|--------------|
| 1             | 752.64    | 7.09         |
| 2             | 393.94    | 6.54         |
| 3             | 553.90    | 6.47         |
| 4             | 489.10    | 6.10         |
| 5             | 603.78    | 6.13         |

| Statistická hodnota | Fmax<br>N | Fsab<br>N/mm |
|---------------------|-----------|--------------|
| Počet zkoušek       | 5         | 5            |
| Průměrná hodnota    | 558.67    | 6.47         |
| Směrodatná odchylka | 133.85    | 0.40         |





## ZKOUŠKA V ODLUPU DLE ISO 11339

### Vstupní hodnoty

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Rychlost zatěžování: : 100 mm/min  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

Příprava vzorků: Nanosení maziva. 60 min. kondicionace. Spleení vzorků.

Vytvrzeno 180°C 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

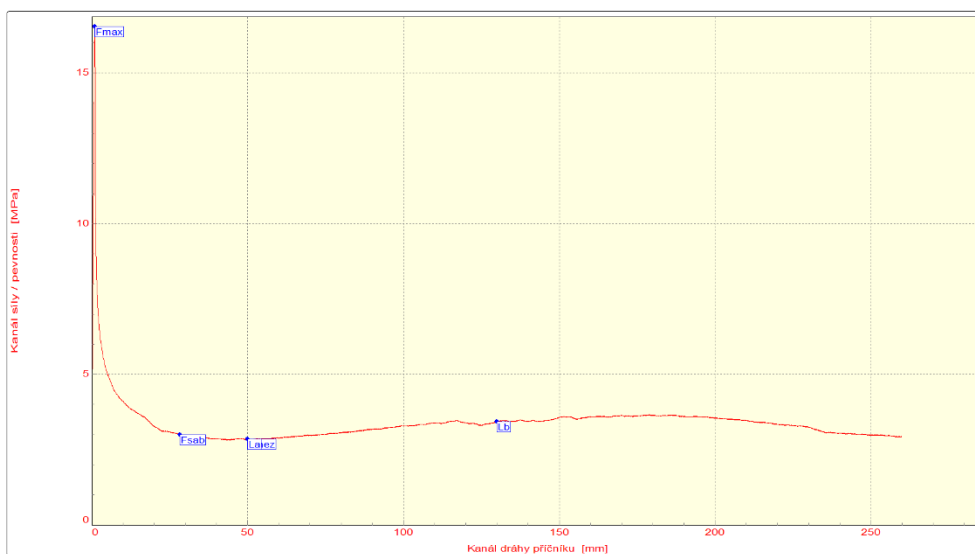
CF: : 100

SCF: :

AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax<br>N | Fsab<br>N/mm |
|---------------|-----------|--------------|
| 1             | 413.76    | 3.17         |
| 2             | 386.74    | 2.83         |
| 3             | 430.52    | 3.19         |
| 4             | 498.70    | 3.27         |
| 5             | 446.42    | 3.01         |

| Statistická hodnota | Fmax<br>N | Fsab<br>N/mm |
|---------------------|-----------|--------------|
| Počet zkoušek       | 5         | 5            |
| Průměrná hodnota    | 435.23    | 3.09         |
| Směrodatná odchylka | 41.80     | 0.17         |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>





## RÁZOVÁ PEVNOST ŠTÍPÁNÍ KLÍNEM DLE ISO 11343

### VSTUPNÍ HODNOTY

Testované lepidlo: : Betamate 1440G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

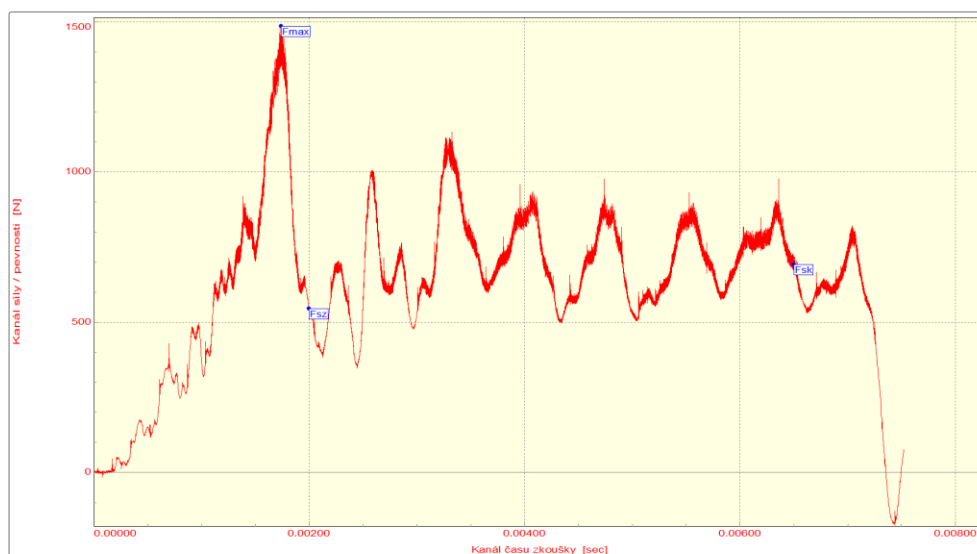
Příprava vzorku: Nanesení maziva, 60 min. prodleva, slepení vzorků  
Vytvrzení : 180°C, 20 min. Test při RT.

### VÝSLEDKY

CF: : 100  
SCF: :  
AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------|-----------|---------------|
| 1             | 1485.18   | 24.92         |
| 2             | 1386.64   | 26.06         |
| 3             | 2607.05   | 20.01         |
| 4             | 2373.25   | 23.65         |

| Statistická hodnota | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------------|-----------|---------------|
| Počet zkoušek       | 4         | 4             |
| Průměrná hodnota    | 1963.03   | 23.66         |
| Směrodatná odchylka | 617.42    | 2.62          |





## RÁZOVÁ PEVNOST ŠTÍPÁNÍ KLÍNEM DLE ISO 11343

### VSTUPNÍ HODNOTY

Testované lepidlo: : SikaPower 492G  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

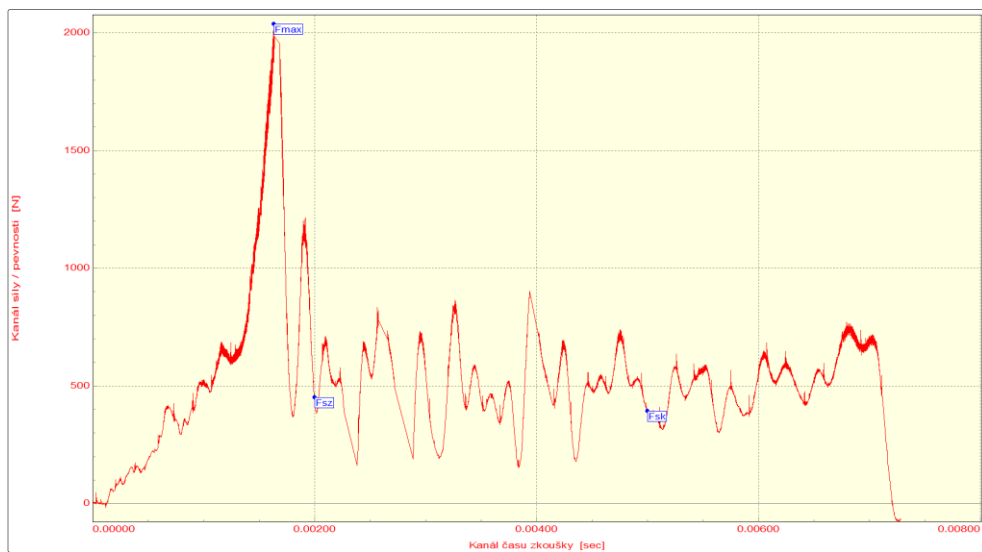
Příprava vzorku: Nanesení maziva, 60 min. prodleva, slepení vzorků  
Vytvrzení : 180°C, 20 min. Test při RT.

### VÝSLEDKY

CF: : 100  
SCF: :  
AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------|-----------|---------------|
| 1             | 2132.10   | 16.05         |
| 2             | 2124.76   | 15.41         |
| 3             | 2036.62   | 19.32         |
| 4             | 1672.43   | 17.15         |

| Statistická hodnota | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------------|-----------|---------------|
| Počet zkoušek       | 4         | 4             |
| Průměrná hodnota    | 1991.48   | 16.98         |
| Směrodatná odchylka | 217.08    | 1.72          |



### TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>





## RÁZOVÁ PEVNOST ŠTÍPÁNÍ KLÍNEM DLE ISO 11343

### VSTUPNÍ HODNOTY

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
Testovaný substrát: : HDG  
Testované mazivo: : Anticorit PL 3802-39s  
Množství maziva: : 3g/m<sup>2</sup>  
Vypracoval: : Petr Nastoupil

Příprava vzorku: Nanesení maziva, 60 min. prodleva, slepení vzorků  
Vytvrzení : 180°C, 20 min. Test při RT.

### VÝSLEDKY

CF: : 100  
SCF: :  
AF: :

| Číslo zkoušky | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------|-----------|---------------|
| 1             | 930.97    | 15.32         |
| 2             | 849.57    | 15.69         |
| 3             | 801.53    | 15.17         |
| 4             | 661.06    | 14.93         |
| 5             | 637.50    | 15.33         |

| Statistická hodnota | Fmax<br>N | Fs/mm<br>N/mm |
|---------------------|-----------|---------------|
| Počet zkoušek       | 5         | 5             |
| Průměrná hodnota    | 776.13    | 15.29         |
| Směrodatná odchylka | 124.97    | 0.28          |



### TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

